

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica**



TESIS

**Aplicación de relleno hidráulico en tajos de taladros largos,  
mediante el armado de muro de concreto**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas.

Elaborado por

Carlos Alberto Castro Garay

 [0009-0006-3491-0709](https://orcid.org/0009-0006-3491-0709)

Asesor

M.Sc. José Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2023

---

Citar/How to cite	Castro Garay [1]
Referencia/Reference	[1] C. Castro Garay, " <i>Aplicación de relleno hidráulico en tajos de taladros largos, mediante el armado de muro de concreto</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Castro, 2023)
Referencia/Reference	Castro, C. (2023). <i>Aplicación de relleno hidráulico en tajos de taladros largos, mediante el armado de muro de concreto</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

### ***Dedicatoria***

*Este proyecto está dedicado a mi familia, a mis padres, hermanas y a todas aquellas personas que me apoyaron de manera incondicional, haciendo posible que pueda cumplir mi sueño e incentivándome a ser una mejor persona cada día.*

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por su apoyo espiritual y por encaminarme siempre hacia el camino del bien.

Mis profundos agradecimientos a los gerentes de la Compañía Minera PAN AMERICAN SILVER HUARON S.A. quienes me permitieron ser parte de esa gran familia, apoyándome con todas las herramientas necesarias para realizar este proyecto.

Finalmente agradezco a todas las personas que han contribuido de alguna manera en mi formación profesional, a mis eternos maestros de mi alma mater Universidad Nacional de Ingeniería.

## Resumen

La presente tesis determina la influencia de la construcción de un muro de concreto en la base de tajo de taladros largos para la acumulación del relleno hidráulico en el ciclo de explotación minera.

El uso de este muro de concreto origina el incremento del uso de relleno hidráulico en interior mina (de 3,000 m<sup>3</sup>/mes a 12,000 m<sup>3</sup>/mes), además de la reducción en costos para el proceso de relleno (de 7.49 \$/m<sup>3</sup> a 2.77 \$/m<sup>3</sup>).

Este muro al incrementar su factor de seguridad por su construcción respectiva elimina el riesgo de fuga del relleno hidráulico, evitando posibles accidentes que puedan involucrar al personal, gestión, medio ambiente y equipos.

El incremento de relleno hidráulico para interior mina origina que el sistema de bombeo, las cunetas y equipos de limpieza en vías deben estar operativos, ya que se tendrá una mayor cantidad de agua producto del relleno hidráulico el cual será evacuado del tajo por los drenajes de quenas ubicados en el muro de concreto.

Finalmente, el mayor volumen de relleno hidráulico en mina, genera más vida útil para la presa de relave en superficie, esto hará disminuir el consumo de tierras colindantes a la presa, dándole facilidades para que el medio ambiente no se vea impactado y evitando posibles conflictos sociales.

Palabras clave – relleno hidráulico, muro de concreto, costos, bomba.

## Abstract

This thesis determines the influence of the construction of a concrete wall at the base of the long-hole pit for the accumulation of hydraulic fill in the mining cycle.

The use of this concrete wall leads to an increase in the use of hydraulic fill inside the mine (from 3,000 m<sup>3</sup>/month to 12,000 m<sup>3</sup>/month), in addition to the reduction in costs for the fill process (from \$ 7.49 /m<sup>3</sup> to \$ 2.77/m<sup>3</sup>).

This wall. By increasing its safety factor due to its respective construction, eliminates the risk of leakage from the hydraulic fill, avoiding possible accidents that may involve personnel, management, the environment, and equipment.

The increase in hydraulic fill inside the mine means that the pumping system, gutters and road cleaning equipment must be operational, since there will be a greater amount of water produced by the hydraulic fill, which will be evacuated from the pit through the drainage of the mine, quenches located in the concrete wall.

Finally, the greater volume of hydraulic fill in the mine generates a longer useful life for the tailings dam on the surface, this will reduce the consumption of land adjacent to the dam, providing facilities so that the environment is not impacted and avoiding possible conflicts social.

Keywords – hydraulic filling, concrete wall, costs, pump.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen .....	v
Abstract .....	vi
Introducción .....	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....	1
1.1 Antecedentes Referenciales.....	1
1.2 Planteamiento de la realidad problemática.....	2
1.2.1 Problema general .....	5
1.2.2 Problemas Específicos .....	5
1.3 Delimitación de la investigación .....	5
1.3.1 Delimitación espacial.....	5
1.3.2 Delimitación temporal.....	5
1.3.3 Delimitación conceptual.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general .....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis .....	6
1.5.1 Hipótesis general.....	6
1.5.2 Hipótesis específicas .....	6
1.6 Identificación de variables .....	7
1.6.1 Variables para la hipótesis general .....	7
1.6.2 Variables para las hipótesis específicas .....	7
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual .....	8
2.1 Bases teóricas - científicas.....	8
2.1.1 Diseño y construcción de muro de concreto .....	8
2.1.2 Costo de relleno hidráulico mecanizado .....	11
2.1.3 Relleno hidráulico acumulado 2020, 2021, 2022 .....	11

2.1.4	Comparación costo relleno hidráulico vs relleno detrítico.....	12
2.1.5	Comparación costo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional.....	13
2.2	Generalidades.....	14
2.2.1	Ubicación.....	14
2.2.2	Accesibilidad.....	15
2.2.3	Reseña histórica.....	16
2.2.4	Geología regional .....	16
2.2.5	Geología local.....	18
2.2.6	Geología estructural .....	19
2.2.7	Mineralización.....	20
2.2.8	Método de explotación.....	22
2.2.9	Ciclo de minado taladros largos.....	23
2.2.10	Análisis de estabilidad de tajos de taladros largos .....	26
2.2.11	Relleno hidráulico .....	30
2.2.12	Clasificación y bombeo de relave .....	33
2.2.13	Costos de relleno hidráulico en tajos .....	48
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....		51
3.1	Construcción de muro de concreto.....	51
3.1.1	Diseño y construcción de muro en TAJO 871D -W.....	51
3.1.2	Materiales y equipos utilizados .....	56
3.1.3	Cálculo de resistencia de muro de concreto .....	57
3.2	Proceso de relleno hidráulico TJ 871D-W – Taladros largos .....	58
3.2.1	Preparación de muro de contención en TJ 871D-W.....	58
3.2.2	Lanzado de tubería para drenaje de agua .....	59
3.2.3	Transporte del relleno hidráulico.....	60
3.2.4	Relleno del tajo.....	61
3.3	Demanda y requerimiento de relleno hidráulico mina.....	63

3.3.1	Demanda de relleno hidráulico mina.....	64
3.3.2	Requerimiento de relleno hidráulico en 2022.....	65
3.3.3	Proyección requerimiento de relleno hidráulico 2023.....	66
3.4	Disponibilidad de relave de planta concentradora .....	68
3.4.1	Porcentaje útil de relave (PUR).....	68
3.4.2	Producción de relave .....	70
3.4.3	Densidad aparente .....	71
3.5	Obtención de resultados .....	73
3.5.1	Relleno hidráulico acumulado mensual (años 2020, 2021, 2022) .....	73
3.5.2	Histórico relleno hidráulico anual y promedio.....	75
3.5.3	Comparación costo relleno hidráulico vs relleno detrítico.....	75
3.5.4	Comparación costo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional.....	76
3.5.5	Relleno hidráulico 2022 vs relleno hidráulico proyectado 2023.....	77
	Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados .....	81
4.1	Análisis de resultados .....	81
4.1.1	Ahorro en costo de relleno detrítico. ....	81
4.1.2	Ahorro en costo de relleno hidráulico.....	81
4.2	Contrastación de hipótesis .....	82
4.2.1	Para la hipótesis general .....	82
4.2.2	Para las hipótesis específicas.....	82
	Conclusiones .....	83
	Recomendaciones .....	84
	Referencias bibliográficas.....	85
	Anexos .....	1

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Costo de relleno hidráulico por m3.....	11
Tabla 2: Relleno hidráulico acumulado entre 2020 y 2022.....	12
Tabla 3: Comparación costo relleno hidráulico vs relleno detrítico.....	13
Tabla 4: Comparación costo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional.....	14
Tabla 5: Propiedades de la masa rocosa.....	27
Tabla 6: Esfuerzos insitu.....	27
Tabla 7: Esfuerzos compresivos inducidos.....	27
Tabla 8: Relación de esfuerzos compresivos.....	27
Tabla 9: Discontinuidades críticas y valores de B.....	28
Tabla 10: Análisis granulométrico.....	33
Tabla 11: Incremento de carga en muestra.....	48
Tabla 12: Costo de relleno hidráulico convencional por m3.....	48
Tabla 13: Costo de relleno hidráulico mecanizado.....	49
Tabla 14: Relleno hidráulico del año 2022 (m3).....	64
Tabla 15: Producción anual año 2022.....	65
Tabla 16: Relleno hidráulico por tipo de labores.....	66
Tabla 17: Proyección requerimiento de relleno hidráulico 2023.....	66
Tabla 18: Análisis granulométrico de muestra de relave.....	69
Tabla 19: Cálculo de los factores A y B.....	70
Tabla 20: Análisis granulométrico del relave enviado.....	73
Tabla 21: Ciclo histórico de relleno hidráulico mensual.....	74
Tabla 22: Histórico relleno hidráulico anual y promedio.....	75
Tabla 23: Comparación costo relleno hidráulico vs relleno detrítico.....	76
Tabla 24: Comparación costo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional.....	77

Tabla 25: Relleno hidráulico acumulado 2022 .....	78
Tabla 26: Relleno hidráulico proyectado 2023 .....	79
Tabla 27: Comparación de costos en años 2021, 2022 y 2023.....	80
Tabla 28: Ahorro en costo de relleno detrítico.....	81
Tabla 29: Ahorro en costo de relleno hidráulico .....	82

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Vista de perfil del diseño de muro de concreto y tajo de talados largos .....	9
Figura 2: Relleno hidráulico acumulado entre 2020 y 2022.....	12
Figura 3: Comparación de relleno hidráulico vs relleno detritico .....	13
Figura 4: Comparación costo RH mecanizado vs RH convencional.....	14
Figura 5: Ubicación de la unidad minera Huaron .....	15
Figura 6: Accesibilidad a la unidad minera Huaron .....	16
Figura 7: Perfil esquemático de la mina Huaron (mirando al Norte) .....	18
Figura 8: Método de minado AVOCA.....	22
Figura 9: Vista longitudinal del tajo 871D.....	23
Figura 10: Diseño de perforación de taladros largos negativos.....	23
Figura 11: Secciones de los taladros largos.....	24
Figura 12: Perforación de taladros largos con el Simba S7D .....	24
Figura 13: Diseño de carguío de taladros largos.....	25
Figura 14: Diseño de limpieza con Scoop.....	25
Figura 15: Relleno de tajo con detritico.....	26
Figura 16: Número de estabilidad N.....	28
Figura 17: Contornos de esfuerzos principales en tajo de explotación.....	29
Figura 18: Sección longitudinal de la veta Tapada Luego de realizar los dos cortes es decir para una altura de banco de 10m. (Salida PHASE2).....	29
Figura 19: El relleno hidráulico acelera el ciclo de explotación de los tajos.....	32
Figura 20: Distribución de partículas.....	34
Figura 21: Bombas para pulpas .....	35
Figura 22: Bomba Spiazza de 10 x 8 “ .....	36
Figura 23: Ciclón D - 20” .....	36
Figura 24: Silo nuevo depósito de relleno hidráulico .....	37
Figura 25: Bomba Svedala HR-100 de 4”x3” . .....	37

Figura 26: Bombas Svedalas – silo nuevo .....	38
Figura 27: Tubo para medición d percolación .....	41
Figura 28: Medición de velocidad de compactación.....	43
Figura 29: Medición de velocidad de compactación en laboratorio .....	44
Figura 30: Muestras de tomas de densidades en silo nuevo.....	45
Figura 31: Perfil esquemático de muro y tajo .....	51
Figura 32: Perfil de muro de concreto.....	51
Figura 33: Desquinchado de canal para muro.....	52
Figura 34: Encofrado de muro .....	53
Figura 35: Enfierrado de muro .....	53
Figura 36: Encofrado en ambas caras .....	54
Figura 37: Colocado de tubería para queñas .....	54
Figura 38: Armado de fierro de 3/4" con alambre.....	55
Figura 39: Lanzado de shotcrete entre concreto y roca .....	55
Figura 40: Instalación de válvula de 4" Ø para desfogue .....	56
Figura 41: Vista frontal de muro.....	57
Figura 42: Construcción del muro de concreto.....	59
Figura 43: Tuberías de drenaje por delante del muro.....	60
Figura 44: Bombas de lodos en el silo nuevo.....	61
Figura 45: Tajo de taladros largos sin relleno hidráulico .....	62
Figura 46: Tajo de taladros largos iniciando el proceso de relleno .....	62
Figura 47: Tajo de taladros largos relleno .....	63
Figura 48: Bombas svedalas - silo nuevo.....	63
Figura 49: Flow Sheet - relleno hidráulico .....	67
Figura 50: Distribución de Relave y concentrado .....	71
Figura 51: Disposición de partículas de relave in-situ .....	72
Figura 52: Relleno hidráulico acumulado mensual 2020, 2021, 2022 .....	74
Figura 53: Relleno hidráulico promedio por año.....	75

Figura 54: Comparación relleno hidráulico vs relleno detritico .....	76
Figura 55: Comparativo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional.....	77
Figura 56: Relleno hidráulico acumulado mensual 2022.....	78
Figura 57: Relleno hidráulico proyectado mensual 2023.....	79

## **Introducción**

La presente investigación remarca su importancia toda vez que nos permitirá contribuir al desarrollo de los conocimientos actuales sobre relleno hidráulico en taladros largos.

La tesis está orientada básicamente a aspectos muy importantes como: relleno hidráulico, resultados del análisis de costos de relleno, de la implementación de construcción de muro para rellenar tajos de taladros largos, y dar a conocer los logros obtenidos en la mina HUARON y compartir con la comunidad minera esta implementación en el campo del relleno hidráulico, que en HUARON se ha constituido en un importante factor de mejora de la productividad y reducción de costos, con beneficios para la seguridad y la protección del medio ambiente.

Estos aspectos justifican y dan la debida importancia a la realización de la investigación.

## Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

### 1.1 Antecedentes Referenciales

Habiendo realizado una revisión de la literatura sobre el relleno Hidráulico y la construcción de muro de concreto para rellenar tajos de taladros largos, encontramos que hay información sobre temas de relleno hidráulico para otros métodos de explotación realizados o aplicados de acuerdo a su realidad, pero poca información en cuanto a relleno hidráulico en tajos de taladros largos y construcción de muros de concreto como dique de contención ; sin embargo todos esos trabajos nos servirán de referencia para realizar nuestro estudio.

Así tenemos trabajos realizados en algunas minas locales como:

- Compañía Minera Volcán Unidad Chungar – Tesis para optar título profesional de Ingeniero de Minas “Mejora de la productividad del sistema de relleno hidráulico en la Zona Mirko Este – Volcan Compañía Minera S. A. A PERÚ – Unidad minera Chungar – Animan”, la investigación tiene por objetivo mejorar la productividad en el sistema de relleno hidráulico, en la Zona Mirko Este, teniendo como resultado que el rendimiento de aporte de relleno hidráulico durante el periodo 2015 al 2019 se incrementó de un promedio mensual de 18,713 m<sup>3</sup> a 24,037 m<sup>3</sup>, Este mayor incremento de aporte de relleno hidráulico mejoró la optimización de producción de relleno considerando menores costos de relleno hidráulico.
- Compañía Minera Poderosa S.A. - Tesis para optar título profesional de Ingeniero de Minas “Evaluación técnica del relleno hidráulico para estabilizar las zonas explotadas en la Compañía Minera Poderosa S. A.”, la investigación tuvo como objetivo determinar si la evaluación técnica del relleno hidráulico influye estabilidad de las zonas explotadas en la compañía minera Poderosa S. A.
- Compañía Minera Volcán Unidad Carahuacra – Tesis para optar título profesional de Ingeniero de Minas “Análisis de los sistemas de relleno en la Mina Carahuacra - Volcán Compañía Minera S.A.A”, la investigación tuvo como objetivo la

determinación de las condiciones de estabilidad del macizo rocoso entorno del área de trabajo en referencia a la velocidad del minado y la utilización del relave clasificado como elemento básico de sostenimiento a fin de prever fenómenos de subsidencia que pudieran afectar en mayor o menor grado el área de trabajo en actual explotación. Planteado de esta manera la problemática, se presenta el sistema de relleno hidráulico por gravedad como alternativa de solución, utilizando relaves clasificados de la Planta Concentradora Victoria, prácticamente dentro del mismo método de explotación que se utilizaba con anteriores sistemas de relleno, como lo eran el convencional y el hidroneumático. Se hizo un análisis individual de cada sistema de relleno empleado en la mina, con su correspondiente estudio económico, llevándose a cabo la evaluación y comparación respectiva para la determinación de la alternativa del sistema de relleno más apropiado para las operaciones de minado.

Con respecto a trabajos como antecedentes del exterior se puede mencionar a:

- Mina El Roble, Departamento el Choco – Colombia (2017), se realiza la tesis en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, de Diego Fernando Rivera, sobre construcción de tapón para tajos en subterránea, en el método de cámaras y pilares.
- Mina San José, Argentina (2018-2019), implementación del sistema de relleno hidráulico para mejoras del ciclo de explotación, con diques / tapón para contención del relleno.

## **1.2 Planteamiento de la realidad problemática**

Bien sabemos que el relleno hidráulico de tajos representa unas de las actividades que tienen gran relevancia dentro de las operaciones mineras por sus ventajas técnico-económicas y de seguridad.

Su objetivo final es la de llenar con sólidos provenientes de la pulpa de relleno hidráulico los espacios vacíos dejados por la explotación de los tajos programados; este llenado genera un nuevo piso que servirá para realizar el siguiente corte en el ciclo de

minado; además este relleno sirve para estabilizar los tajos en menor tiempo por su gran confinamiento que presenta.

El área de servicios mina Huaron, venía empleando el relleno hidráulico en tajos convencionales, y cuyo volumen en los primeros 6 meses del 2022 se redujo debido a la mecanización de las operaciones mineras, y a la reducción de los tajos convencionales, cuyo costo promedio por m<sup>3</sup> era de 7.49 \$, teniendo un relleno promedio mensual de 3,000 m<sup>3</sup> de sólidos.

Luego de la mecanización de la unidad Huaron, se inició rellenar los tajos de taladros largos ya explotados con relleno detrítico con un costo de 5.5 \$/m<sup>3</sup>, para tal se usa un scoop de 4.2 yd<sup>3</sup>. Esta operación es demasiado lenta y tenemos el vacío del tajo expuesto por más tiempo generando el reacomodo de los esfuerzos en el macizo rocoso.

Teniendo en cuenta también que la cota del recrecimiento de la presa de relaves en superficie está en el límite por la falta de actualización de los permisos con la comunidad colindante para poder recrecer desde la base, urge incrementar el uso del relleno hidráulico en interior mina.

En julio del año 2022 se decide incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos a 2.77 \$/m<sup>3</sup>, rellenando tajos de taladros largos mediante la construcción de tapones de concreto en la base del tajo, el cual incrementará el relleno hidráulico hasta 12, 000 m<sup>3</sup> mensuales.

Con la construcción de muros de concreto para aplicar relleno Hidráulico en taladros largos se tendrían las siguientes ventajas en seguridad:

- Se incrementa el factor de seguridad al disminuir el tiempo de exposición de los tajos ya explotados, evitando de esta forma los reacomodos y colapsos de los pisos superiores.
- Por su gran fluidez el relleno Hidráulico se encajona en todas las sinuosidades de los tajos, estabilizando las cajas y eliminando el fenómeno de la subsidencia en el piso del tajeo.

- Los muros de concreto brindan seguridad en el proceso de relleno Hidráulico, evitando soplos por los pisos inferiores eliminando de esta manera los riesgos a tener accidentes con el personal, equipos y/o medio ambiente debido a la pronta exposición del material de relleno hidráulico que inundaría las labores aledañas inferiores.
- Mejora en la gestión de seguridad, ya que con la implementación del relleno Hidráulico en tajos de taladros largos se elimina la exposición del personal a la línea de fuego, cosa que se tenía cuando se rellenaban los tajos convencionales al realizar las actividades de entelado y barrera con madera.
- Mejoras en aspectos ergonómicos al eliminar procesos de traslado de materiales a pulso (puntales, tablas) hacia los pisos superiores de los tajos convencionales.

El motivo de emplear muros de concreto armado desde el inicio de las pruebas, es por mejorar la seguridad de estos en su construcción, ya que en el año 2008 se tuvo un accidente catastrófico en la MINERA SIMSA (San Ignacio de Morococha S.A), con la muerte de 4 trabajadores.

En enero del 2008, se estaba avanzando la rampa 1010 negativa, y a 40 metros antes del tope se tenía el acceso al pie de un tajo en corte y relleno ascendente mecanizado con jumbo. Ingresando a este acceso a una distancia de 20 metros de tenía un muro convencional que se había construido para retención del relleno hidráulico; luego de dos guardias de rellenar con relleno hidráulico y no dar inicios del relleno en el tajo, a las 10:00 pm de la guardia noche, el muro cede y toda la carga de relleno hidráulico sale del tajo para ingresar hacia la rampa 1010, donde se encontraban laborando el maestro Carrión, ayudantes Valenzuela, Heredia y Ninamanco, los cuales no pudieron escapar por la velocidad y volumen del relleno, falleciendo los 4 trabajadores en dicha labor.

Viendo estos problemas de accidente en otra unidad minera las cuales no deberían de repetirse, se planteó e implementó la presente investigación evaluando los resultados

del relleno hidráulico en tajos de taladros largos mediante la construcción de muros de concreto

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo influye la construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos para incrementar el rendimiento de relleno Hidráulico y reducir los costos en el proceso de relleno, eliminando el riesgo de fuga y/o soplo de relave?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿En qué medida influye la construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos para incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos en el proceso de relleno?
- ¿En qué medida influye la construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos para eliminar fugas y riesgos de soplo en el proceso de relleno hidráulico?

## **1.3 Delimitación de la investigación**

### **1.3.1 Delimitación espacial.**

Para el presente trabajo se ha utilizado como unidad de análisis, las instalaciones de la Mina Huaron de la COMPAÑÍA MINERA PAN AMERICAN SILVER S.A.

### **1.3.2 Delimitación temporal.**

Seis meses, desde febrero del 2023 a Julio del año en mención.

### **1.3.3 Delimitación conceptual**

La presente tesis está enmarcada dentro del aspecto de la investigación sobre relleno Hidráulico en tajos de taladros largos. Dentro de los aspectos conceptuales que se desarrollan se consideran los conceptos de relleno Hidráulico, costos de relleno Hidráulico, transporte de relleno Hidráulico, clasificación, propiedades físicas y químicas del relave, construcción de muro de concreto para relleno Hidráulico, seguridad en tajos de relleno Hidráulico.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Determinar cómo influye la construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos para incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos en el proceso de relleno, eliminando riesgo de fuga y/o sople de relave.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Determinar en qué medida influye la construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos para incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos en el proceso de relleno hidráulico.
- Determinar en qué medida influye la construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos para eliminar fugas y riesgos de sople en proceso de relleno hidráulico.

## **1.5 Hipótesis**

### ***1.5.1 Hipótesis general***

La construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos permite incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos al aplicar relleno hidráulico en tajos de taladros largos los cuales generan más espacios vacíos y eliminará el riesgo de sople de relave por la base de los tajos en las minas subterráneas.

### ***1.5.2 Hipótesis específicas***

- La construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos permite incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos del proceso de relleno en minas subterráneas.
- La construcción de muro de concreto en tajos de taladros largos permite eliminar el riesgo de sople de relave por la base de los tajos en minas subterráneas.

## **1.6 Identificación de variables**

### ***1.6.1 Variables para la hipótesis general***

- Variable Independiente

Construcción de muros de concreto para Rellenar tajos de taladros largos con relleno hidráulico los cuales generan más espacios vacíos en su proceso de explotación, eliminando riesgos de fuga y soplos de relave por pie de tajos.

- Variable dependiente:

Obtener incremento del rendimiento del relleno hidráulico y reducción de costos, eliminando riesgos de fugas y soplos de relave por pie de tajos.

### ***1.6.2 Variables para las hipótesis específicas***

- Para la hipótesis a.

- **Variable independiente**

Construcción de muro de concreto para rellenar tajos de taladros largos con relleno hidráulico los cuales generan más espacios vacíos en su proceso de explotación.

- **Variable dependiente**

Obtener incremento del rendimiento del relleno hidráulico y reducción de costos, eliminando las fugas y soplos de relave por pie de tajos

- Para la hipótesis b.

- **Variable independiente**

La construcción de muros de concreto para rellenar tajos de taladros largos eliminará el riesgo de fuga y soplo de relave por la base o pie del tajo en el proceso de relleno.

- **Variable dependiente**

Obtener incremento del rendimiento del relleno hidráulico y reducción de costos, eliminando las fugas y soplos de relave por pie de tajos.

## **Capítulo II. Marcos teórico y conceptual**

### **2.1 Bases teóricas - científicas**

Durante el desarrollo de la presente Tesis haremos uso de una serie de información tanto bibliográficos, de campo, que darán evidencia sobre la presente investigación en cuanto a: relleno hidráulico, taladros largos, costos de relleno, seguridad, kpi relleno hidráulico, muro de concreto para taladros largos. La Unidad Huaron se usará como unidad de análisis y se tomarán los siguientes datos:

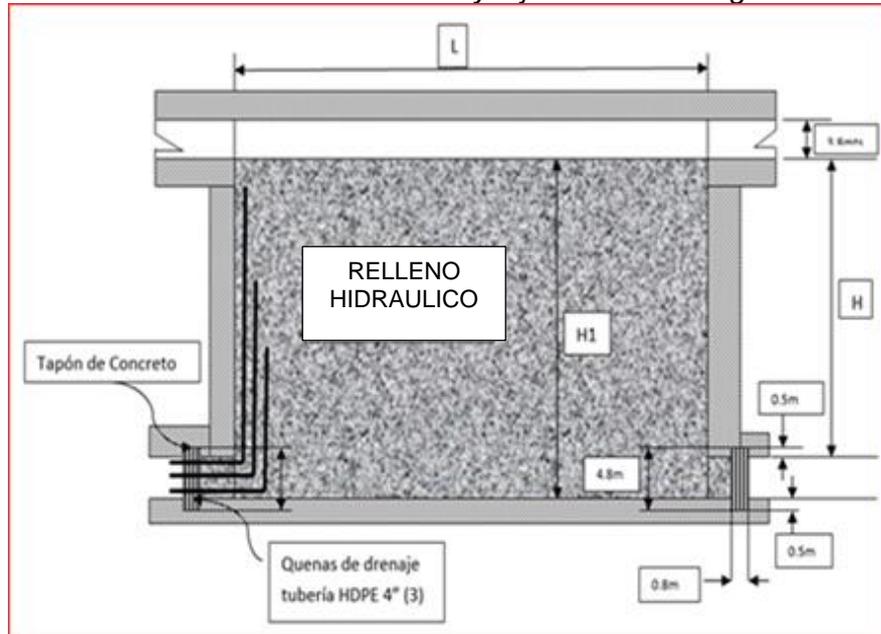
- Ubicación.
- Accesibilidad.
- Reseña Histórica.
- Geología Regional.
- Geología Local.
- Geología Estructural.
- Mineralización.
- Método de Explotación.
- Ciclo de minado.
- Análisis de Estabilidad de tajos de taladros largos.
- Relleno hidráulico en tajos.
- Clasificación y bombeo de relave a silo de R.H.
- Costos de relleno en tajos.
- Construcción de muro de concreto.

#### ***2.1.1 Diseño y construcción de muro de concreto***

- Primero se ubica el tajo a rellenar, para marcar el punto donde se va a realizar el tapón de concreto antes de iniciar el relleno hidráulico del Tajo. El muro debe estar alejado del filo del tajo explotado mínimo 5 metros de distancia.

## Figura 1

Vista de perfil del diseño de muro de concreto y tajo de talados largos



Fuente: Elaboración propia

- El muro de concreto armado tiene que cubrir toda la sección de la labor, el espesor del muro debe ser de 0.8 m.
- Se debe realizar desquinche de un canal alrededor de la sección de la labor, este canal será de 0.5 m. en profundidad.
- El muro de concreto debe ser indentado a la roca por sus cuatro lados (corona, 2 hastiales, y piso), el indentado o canal tendrá una profundidad de 0.5 m.
- En el canal del indentado se instalarán 2 fierros corrugados de 3/4", cementados y separados a una distancia de 0.5 m en filas, este par de fierros se debe colocar alrededor de todo el canal, desde el hastial izquierdo, corona, hastial derecho, piso y terminar en el punto donde inició distanciados también 0.5m. Esto sirve para poder amarrar la doble alma de fierro corrugado del muro principal con las mechas que salen del indentado.
- El enmallado con fierro de 3/4" de 50 cm de espaciado, será de doble alma en los fierros indentados y amarrado en forma de cuadrícula (horizontalmente y verticalmente).

- Los empalmes del fierro de  $\frac{3}{4}$ " se realizarán con alambre N° 16.
- Se realiza el encofrado de ambas caras del muro con tablas o paneles los cuales también deben estar indentados hacia la roca.
- En el proceso de encofrado se deberá dejar 3 quenas de tubo de HDPE 4" separados cada 1 m en forma vertical, los cuales servirán como drenaje para el agua provenientes del relleno hidráulico.
- Se asegura el encofrado con alambre N° 8, para evitar soplo del encofrado.
- Se realiza proceso de vaciado del muro con mixer y robot para bombear el concreto.
- Se realiza el desencofrado del muro (cara interna y externa), para recuperar las tablas y/o paneles de madera.
- Se lanza shotcrete para sellar el muro entre el borde del concreto y la roca encajonante, en toda la sección frontal.
- Se colocará las válvulas de 4" en las 3 quenas dejadas para controlar drenaje de agua durante proceso de relleno.
- Se instala la bomba y tubería respectiva delante del muro para poder evacuar el agua hacia las cunetas principales.
- Personal encargado del relleno hidráulico, cuando observe salir contenido sólido por la válvula de bola de 4 pulgadas que se encuentra en el muro, procederá a cerrarla. Este proceso se repetirá para las dos válvulas restantes del muro de concreto.

#### **Materiales y Equipos utilizados**

- Fierro corrugado de  $\frac{3}{4}$ ".
- Tablas de madera 3 m x 0.2 m x 2".
- Alambre N° 8.
- Alambre N° 16.
- Mortero 260 Kg/cm<sup>2</sup>

- Equipo Robot.
- Equipo Mixer.
- Válvula de 4".
- Tubería de HDPE 4".

### 2.1.2 Costo de relleno hidráulico mecanizado

Tabla 1

Costo de relleno hidráulico por m<sup>3</sup>

DESCRIPCIÓN	COSTO DE RELLENO HIDRÁULICO POR M <sup>3</sup>					
<b>PARAMETROS PRINCIPALES</b>						
Ancho de sección	0	M		Rendimiento	200.00	m <sup>3</sup> /gda
		8.00	Horas		30.00	m <sup>3</sup> /hora
Horas por turno						
<b>SUB-PARTIDAS</b>	INCIDENCIA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	TOTAL
<b>a. MANO DE OBRA</b>						
Supervisor de Servicios	0.50	H-H	8.00	9.10	36.38	0.182
Servidor General Mina A	0.75	H-H	8.00	4.34	26.02	0.130
Operador relleno hidráulico B	1.00	H-H	8.00	5.12	40.96	0.205
Operador relleno hidráulico A	1.00	H-H	8.00	5.12	40.93	0.205
<b>SUB TOTAL MANO DE OBRA</b>			32.00	13.43	62.40	0.72
<b>b. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD</b>						
Supervisor de Servicios	0.50	Hora	4.00	0.48	1.92	0.0096
Servidor General Mina A	1.00	Hora	16.00	0.34	5.44	0.0272
Operador relleno hidráulico B	1.00	Hora	8.00	0.34	2.72	0.0136
Operador relleno hidráulico A	1.00	Hora	8.00	0.34	2.72	0.0136
<b>SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD</b>			36.00	1.50	12.80	0.06
<b>c. MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>						
Herramientas		Gdia	16.00	0.16	2.56	0.013
Tubería de 4"		M	1.19	39.20	46.67	0.233
Hidrocoplas		Und	0.01	344.00	4.91	0.025
Tela arpillera		m	0.24	10.08	2.40	0.012
Cadena de slavon		Kg	0.12	13.84	1.65	0.008
<b>SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>					2.56	0.291
<b>d. COSTO DE MURO DE CONCRETO</b>						
Muro de concreto		Und	4.00	3,866.53	15,466,12	1.29
<b>SUB TOTAL MURO DE CONCRETO</b>						1.29
<b>e. COSTO DE ENERGÍA</b>						
Bomba svedala 1		H-E	420.00	0.06	25.2	0.13
Bomba svedala 2		H-E	100.00	0.06	6.0	0.03
Bomba sello de agua		H-E	420.00	0.06	25.2	0.13
Bomba agitador		H-E	420.00	0.06	25.2	0.13
<b>SUB TOTAL ENERGIA</b>					81.06	0.41
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				US\$/m <sup>3</sup>		2.77
<b>COSTO POR METRO CÚBICO</b>				US\$ x m <sup>3</sup>		2.77

Fuente: Elaboración propia

#### Costo Unitario:

$$RH = 2.77 \$/m^3$$

### 2.1.3 Relleno hidráulico acumulado 2020, 2021, 2022

**Tabla 2**

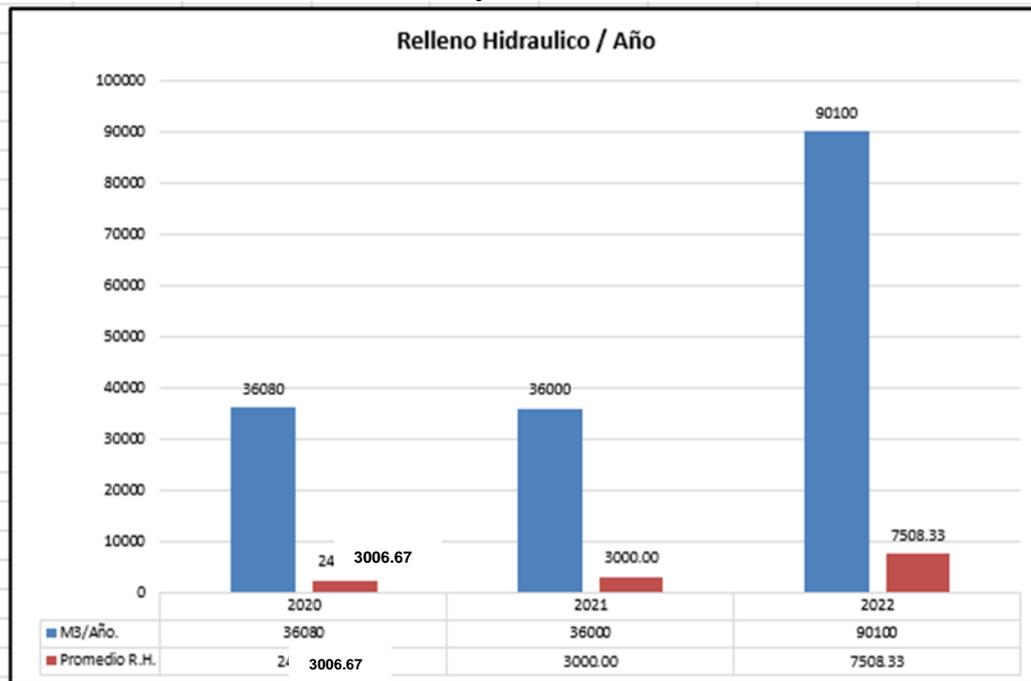
*Relleno hidráulico acumulado entre 2020 y 2022*

AÑO	M3/AÑO	PROMEDIO
2020	36,080.00	3,006.67
2021	36,000.00	3,000.00
2022	90,100.00	7,508.00

Fuente: Elaboración propia

**Figura 2**

*Relleno hidráulico acumulado entre 2020 y 2022*



Fuente: Elaboración propia

**2.1.4 Comparación costo relleno hidráulico vs relleno detrítico**

- RH = 2.77 \$/m3.
- RD = 5.5 \$/m3.
- Ahorro = 2.73 \$/m3
- Ahorro 2022 = 196560.00 \$/año

**Tabla 3**

*Comparación costo relleno hidráulico vs relleno detrítico*

	Año		
	2020	2021	2022
<b>M3/año</b>	36,080.00	36,000.00	90,100.00
<b>Promedio</b>	3,006.67	3,000.00	7,508.33
<b>Costo RH/año</b>	270,239.20	269,640.00	335,009.00
<b>Costo RD Mec. \$/año</b>	198,440.00	198,000.00	495,550.00
<b>Ahorro \$/año</b>	0.00	0.00	196,560.00

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3**

*Comparación de relleno hidráulico vs relleno detrítico*



Fuente: Elaboración propia

**2.1.5 Comparación costo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional**

- RH - convencional = 7.49 \$/m3.
- RH - mecanizado = 2.77 \$/m3.
- Ahorro = 4.72 \$/m3
- Ahorro 2022 = 339840.00 \$/año.

**Tabla 4**

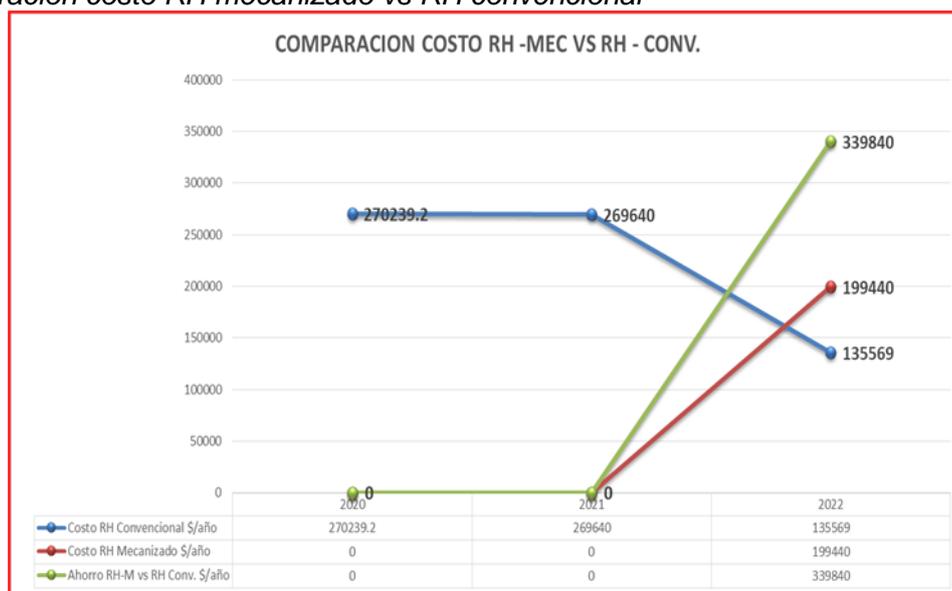
*Comparación costo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional*

Concepto	Año		
	2020	2021	2022
M3/año	36,080.00	36,000.00	90,100.00
Promedio	3,006.67	3,000.00	7,508.33
Costo RH/año	270,239.20	269,640.00	335,009.00
Costo RH Convencional. \$/año	270,239.20	269,640.00	135,569.00
Costo RH Mecanizado. \$/año	0.00	0.00	199,440.00
Total costo \$/año	270,239.20	269,640.00	335,009.00
Ahorro \$/año	0.00	0.00	339,840.00

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4**

*Comparación costo RH mecanizado vs RH convencional*



Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Generalidades

### 2.2.1 Ubicación

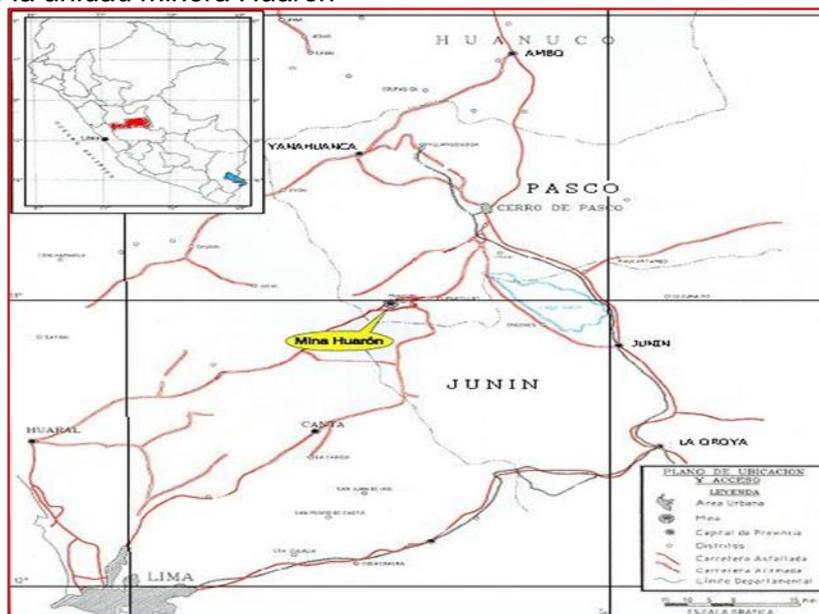
La Mina Huarón se ubica en el distrito de Huayllay, provincia Pasco, departamento de Cerro de Pasco. Geográficamente se localiza en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes a una altura de 4,540 metros sobre el nivel del mar. Las

coordenadas geográficas que corresponden a la zona son: 76° 25' Longitud Oeste/  
11°00' Latitud Sur

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones Mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

### Figura 5

Ubicación de la unidad minera Huarón



Fuente: Informe de geología. Pan American Silver S.A.

### 2.2.2 Accesibilidad

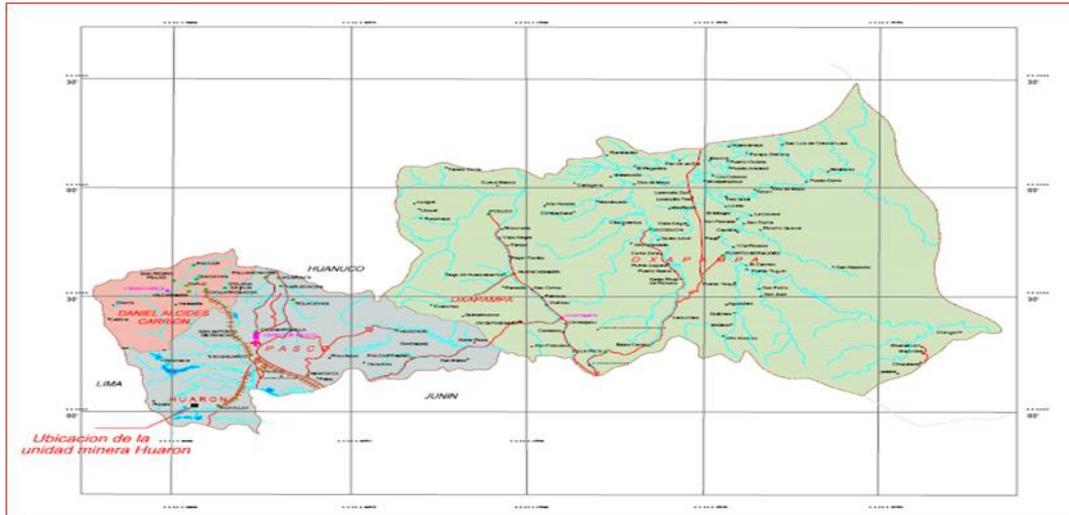
El acceso principal a la mina es por la Carretera Central Lima - La Oroya – Unish, hasta el Km. 280 por carretera asfaltada, desde este punto se recorre 40 Km. por carretera asfaltada hasta llegar a la mina.

Se cuenta además con dos rutas alternas como lo son Lima-Canta-Huarón con 215 Km de carretera y Lima-Huaral-Huarón con 210 Km de carretera.

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones Mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

**Figura 6**

*Accesibilidad a la unidad minera Huaron*



Fuente: Informe de geología. Pan American Silver S.A.

### **2.2.3 Reseña histórica**

- Entre 1 912 a 1 929 se explotó por Cobre; a partir de 1 929 se explotaron sulfuros de plomo argentífero y zinc.
- En 1 912 “COMPAGNIE DES MINE DE HUARÓN” inició su explotación.
- En 1 978 se adecua a ley como “COMPAÑIA MINERA HUARÓN S.A.”
- En junio de 1 987 las acciones de franceses fueron transferidas a M.H.C.S.A quien explota hasta Abril de 1 998 por colapso de la laguna Naticochoa.
- En marzo del 2 000 es tomada en alquiler por un lapso de 10 años por el Grupo PAN AMERICAN SILVER S.A quien explota hasta la fecha.

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones Mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

### **2.2.4 Geología regional**

M. Schmidt 1975, Espouterille 1978, J.M. Thouvenin 1983, D. Ríos 1984 - 1990), establecen una cronología de las fases de actividad tectónica magmática en el yacimiento.

Dentro de la región Huarón, toda la serie de las capas rojas de edad eocena, están plegados y fracturados por la fase tectónica llamada "incaica" (-43 millones de años). Estas

deformaciones están afectadas por una segunda fase tectónica de edad comprendida entre los 18 a 24 millones de años (fase quechua), que ocasionó la formación del anticlinal de Huarón, mostrando fallas inversas sobre su flanco Oeste y a un rejeo de una de las grandes fallas E-W, la falla Pozo D.

Las intrusiones Sub volcánicas son contemporáneas a la deposición al Oeste de Huarón de rocas volcánicas de composición dacítica a andesítica, correlacionando con vulcanismo Calipuy. Las dataciones efectuadas sea sobre intrusiones antiminerales monzoníticas en Cerro de Pasco, sea sobre los volcánicos en la proximidad del yacimiento del Río Pallanga a 15 Km. Al sur de Huarón, nos da una edad alrededor de 15 millones de años.

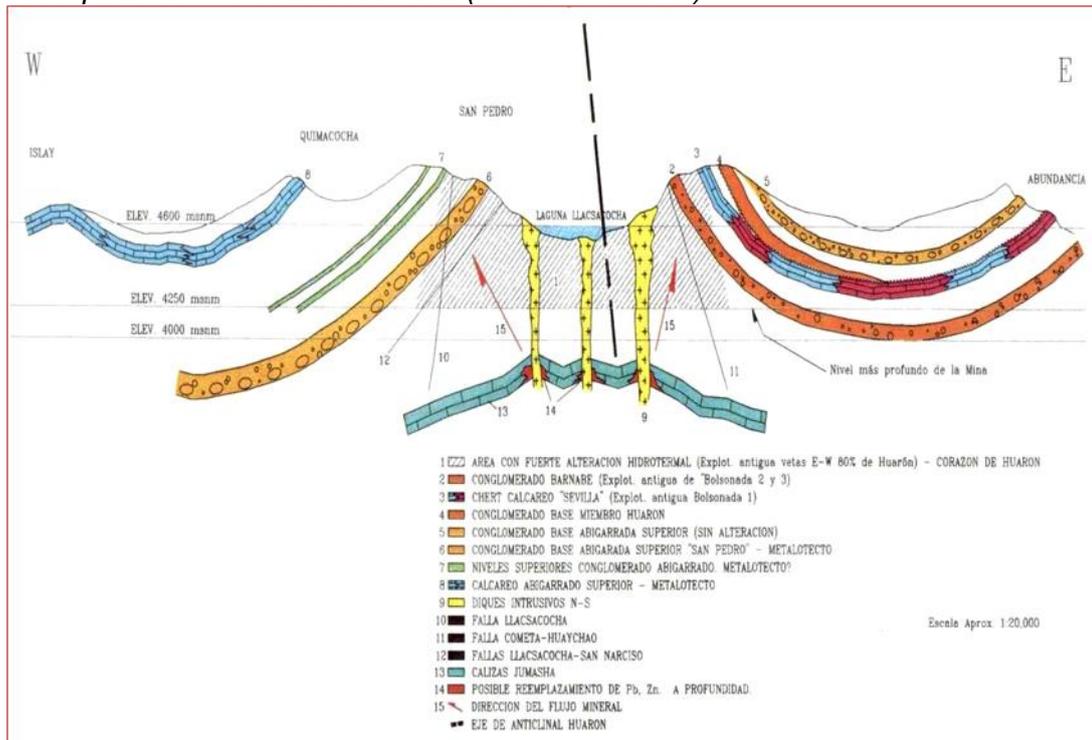
Una tercera fase tectónica de edad comprendida entre 13 y 10 millones de años, los que corresponden a una compresión N-S en la zona de superficie puna (J.P. Souta op.cit) puede relacionarse en Huarón con una compresión N 70° y a una ligera discordancia dentro de las formaciones volcánicas.

Finalmente, una última fase tectónica terciaria de edad comprendida entre 05 y 01 millón de años, es seguido de una erosión intensa conduciendo a la formación de la superficie puna próxima a la superficial actual y precede la depositación, al este de Huarón de volcánicos ácidos, las Ignimbritas del bosque de las rocas, de edad Pliocena.

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones Mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

**Figura 7**

*Perfil esquemático de la mina Huaron (mirando al Norte)*



Fuente: Informe de geología. Pan American Silver S.A.

### **2.2.5 Geología local**

La Paragénesis del Distrito de Huarón, se especifica en cuatro flujos mineralizantes principales de mayor a menor Temperatura; sin embargo, se han identificado hasta ocho flujos mineralizantes, muchos de ellos no están bien estudiados; en el terreno se han realizado las siguientes observaciones que pueden variar en el futuro.

- Las primeras vetas de Huarón fueron de Cuarzo-Pirita básicamente.
- La segunda mineralización fue de Galena, Esfalerita y Plata con ganga de Cuarzo-Pirita.
- La tercera mineralización con Blenda, Galena y ganga de Rodocrosita con alta Ley de Plata.
- Una cuarta mineralización con Cuarzo, Pirita y minerales, de Cobre básicamente Sulfosales (éstos últimos pueden tener origen secundario).

Las estructuras de veta, pueden tener dos ó todas las fases de mineralización, pues han sufrido reaperturas.

**Plegamientos:** Un anticlinal asimétrico, es la estructura principal con el flanco Oriental de mayor buzamiento que el occidental, parte del plano axial ha sido erosionado.

Las dimensiones de la estructura son aproximadamente son de 20 Km. a lo largo de la zona axial longitudinal y 6 Km. de la zona axial transversal.

**Fallas y Fracturas:** Los esfuerzos posteriores a la compresión e intrusión, debido al relajamiento de la charnela del anticlinal con formación de fallas y fracturas. Un primer conjunto de orientación E-W, se caracteriza por presentar dos sistemas de fracturas: el primer buza  $70^{\circ}$ - $80^{\circ}$  N, se localiza en la parte sur del distrito, vetas: Andalucía, Restauradora, Cometa, Elena, Yanamina, Travieso, Alianza y Yanacrestón; el segundo sistema que buza  $80^{\circ}$ - $90^{\circ}$  S, se localiza en la parte norte, vetas: Shiusha N, Shiusha S, Pozo D, Patrick y veta 17.

Un segundo conjunto de orientación N-S, que buzan al Oeste entre  $40^{\circ}$ - $65^{\circ}$ W, se localizan al Oeste del distrito, son concordantes a la estratificación, vetas: Fastidiosa, San Narciso, Santa Rita, Surprise, Caprichosa y ramal Caprichosa. Todas las fracturas y fallas son pre-minerales más el fracturamiento post mineral de menor magnitud en forma concordante al pre-mineral.

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones Mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

### ***2.2.6 Geología estructural***

La estructura mayor e importante es un anticlinal asimétrico con rumbo  $N25^{\circ}$ W. consistente en sedimentos continentales del Cretáceo Superior al Terciario Inferior “Capas Rojas – Formación Casapalca que contienen margas, lutitas, areniscas, conglomerados, sedimentos calcáreos, chert y otros; los cuales fueron plegados y fallados por actividad tectónica del Eoceno-Plioceno.

El relajamiento de fuerzas tectónicas compresionales pre - intrusivas a lo largo de zonas axilares originó zonas de debilidad y rupturas en el anticlinal; los que sirvieron de canales de circulación de fluidos ígneos monzoníticos – cuarcíferos.

Huarón es un yacimiento filoniano y se conocen alrededor de un centenar de vetas con longitudes entre 100 a 1 800 m, y potencias entre 0.30 m a 6 m; explotados hasta 580 m desde superficie (4 830 msnm) hasta el nivel de Huarón (4 250 msnm) en un área de 3 por 4 km. Actualmente en profundización para desarrollar en el Nv. 4180.

Los filones son de rumbo E-W con buzamientos entre 60° y 88° al norte y al sur perpendiculares al eje del anticlinal limitados por dos grandes fallas de cizalla que forman una "X" dividiendo al anticlinal en cuatro sectores cada una con sus propias características.

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones Mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

### **2.2.7 Mineralización**

Estudios microscópicos han determinado 91 especies minerales entre mena y ganga Ag, Zn, Pb, Cu, constituyen el objeto de su explotación donde la Ag es el 80% del mineral económico. Los principales minerales son: Sulfosales de Ag-Cu (tetraedrita), Esfalerita, Galena, Tenantita junto con Cuarzo, Pirita, Rodocrosita, Rodonita, Manganocalcita y Alabandita.

La paragénesis del distrito de Huarón, se especifica en cuatro flujos mineralizantes principales de mayor a menor temperatura; sin embargo, se han identificado hasta ocho flujos mineralizantes, muchos de ellos no están bien estudiados; en el terreno se han realizado las siguientes observaciones que pueden variar en el futuro.

- Las primeras vetas de Huarón fueron de Cuarzo-Pirita básicamente.
- La segunda mineralización fue de Galena, Esfalerita y Plata con ganga de Cuarzo-Pirita.
- La tercera mineralización con Blenda, Galena y ganga de Rodocrosita con alta ley de Plata.
- Una cuarta mineralización con Cuarzo, Pirita y minerales, de Cobre básicamente sulfosales (éstos últimos pueden tener origen secundario).

- Las estructuras de veta, pueden tener dos o todas las fases de mineralización, pues han sufrido reaperturas.
- Según D.P. Ríos se presenta un zoneamiento con respecto al buzamiento y tipo de mineral que contienen.

Los tipos de estructura presente en Huaron son: Vetas, Mantos y Cuerpos (bolsonadas).

- **Vetas**

Son estructuras tabulares emplazadas en fracturas de tensión o en fracturas tensionales. Su potencia varía desde centímetros hasta 10 metros. Existen dos sistemas bien diferenciados (NS y EW). Son estructuras que pueden responder a una mecanización dependiendo del ancho.

- **Mantos**

Son estructuras de bajo buzamiento y su presencia está localizada en el flanco oeste del anticlinal. Su potencia permite mecanizar en algunos sectores.

- **Cuerpos**

Han sido trabajados con métodos mecanizados y alta productividad. Se encuentran en el cruce de vetas a manera de stockwork, en el cruce de vetas con estratos de conglomerados (originando reemplazamiento), y también en el cruce de vetas con estratos de arenisca calcárea (originando diseminados). Existen cuerpos a manera de stockwork en el contacto intrusito-arenisca, los que han sido poco reconocidos.

Los niveles primarios económicos más importantes son: Esfalerita, Galena, Tetraédrica, Calcopirita.

La ganga está formada por: Pirita, Cuarzo, Rodocrosita, Calcita.

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones Mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

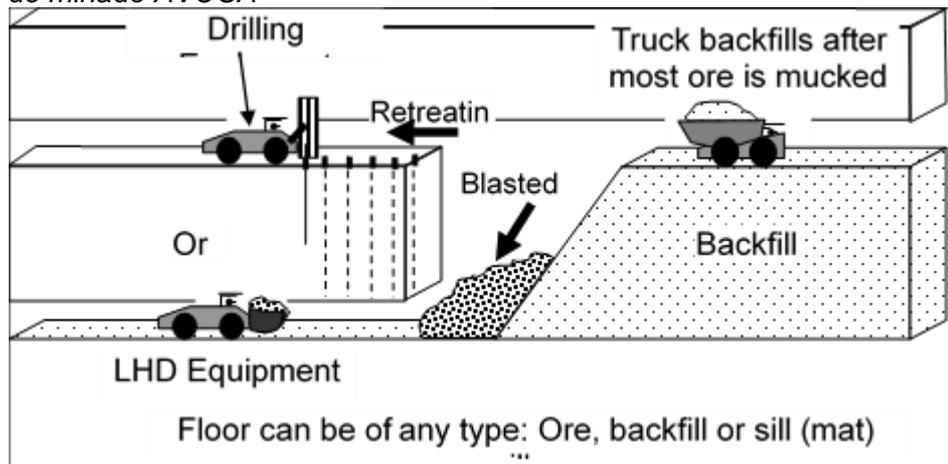
### 2.2.8 Método de explotación

#### Método de minado Sub level Stopping o Método AVOCA.

El método de minado Sub Level Stopping con relleno permanente denominado también como el método de minado AVOCA se aplica en depósitos verticales con potencias mayores a 3.0 m y cuyas cajas son de competencia pobre. Este método es bastante versátil, con un rango de aplicación amplio especialmente en condiciones de rocas incompetentes o de características impredecibles. Permite una buena recuperación y selectividad de las reservas, se puede obviar sin problemas las irregularidades del yacimiento. Los sectores estériles pueden quedar como pilares, así mismo se puede dejar mineral disparado de baja ley en el caserón. La dilución es controlable utilizando sistemas de protección adecuados.

**Figura 8**

*Método de minado AVOCA*

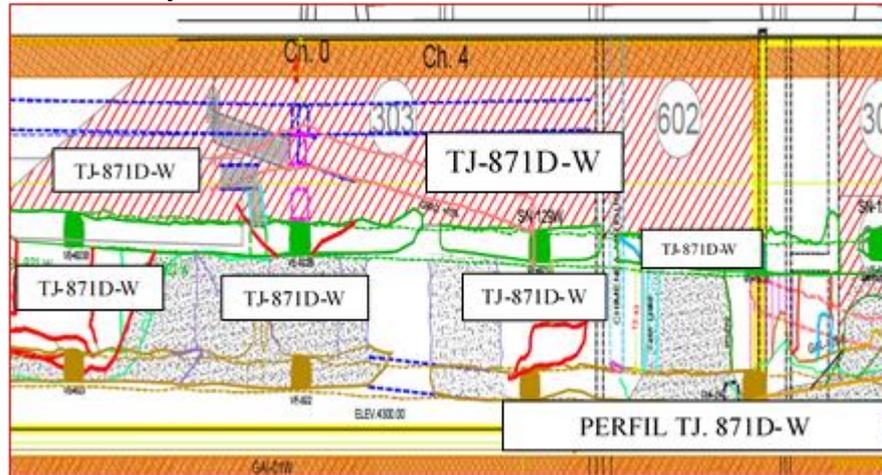


Fuente: Informe de explotación minera. Pan American Silver S.A.

El minado por el método AVOCA nos permite mantener el límite máximo de abertura, por el constante relleno que se realiza cada cierto tramo disparado y consiste en realizar un by pass paralelo a la estructura mineralizada, luego se ingresa con ventanas cada 50 m. y se realizan sub niveles cada 15 de altura, a la vez se realizan los pisos de minado con varios by pass que nos permiten mantener el relleno constante del tajo.

## Figura 9

Vista longitudinal del tajo 871D



Fuente: Informe mensual de planeamiento. Pan American Silver S.A.

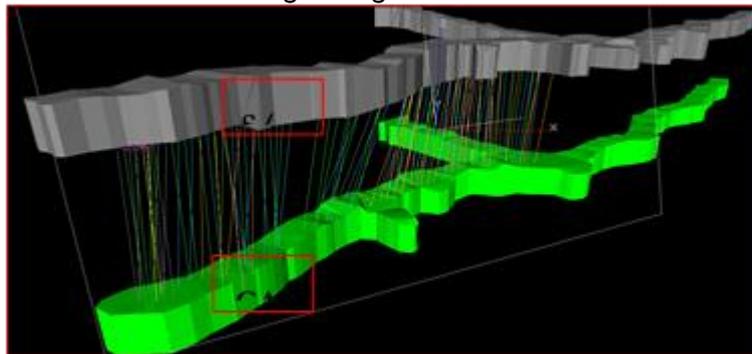
### 2.2.9 Ciclo de minado taladros largos

#### Perforación.

Inicialmente se realiza el slot de 10m. de altura, lo que queda luego de los dos cortes en realce, luego la perforación se realizará con Jumbo Simba S7D, en forma negativa, Burden 1.3 m, espaciamiento de 1.3 m., diámetro de taladro 64 mm.

## Figura 10

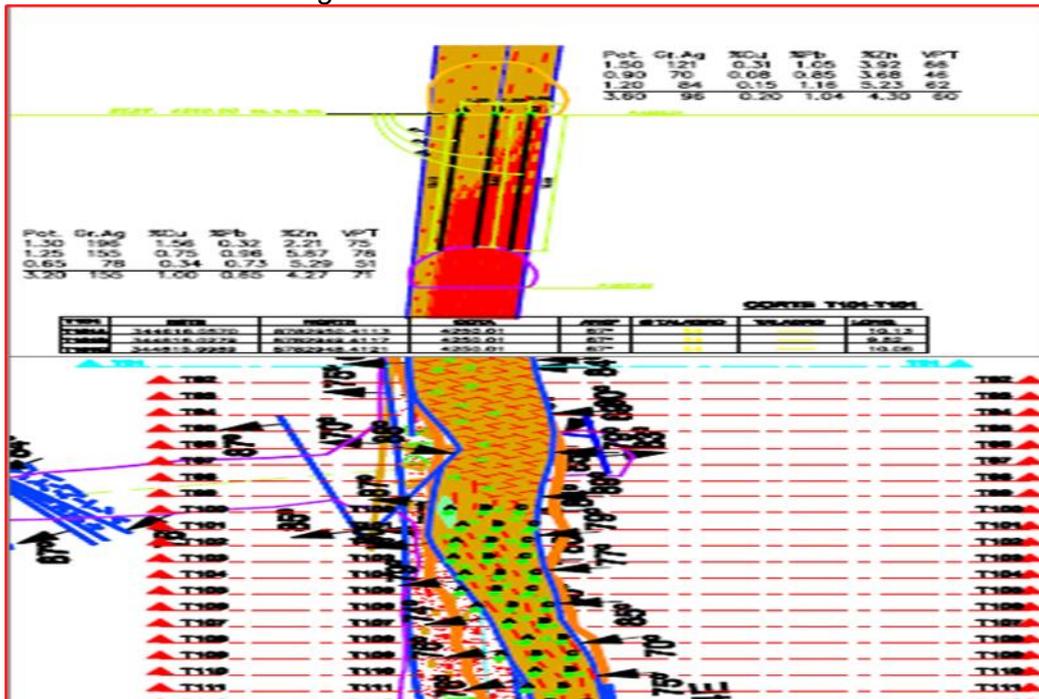
Diseño de perforación de taladros largos negativos



Fuente: Manual de planeamiento. Pan American Silver S.A.

**Figura 11**

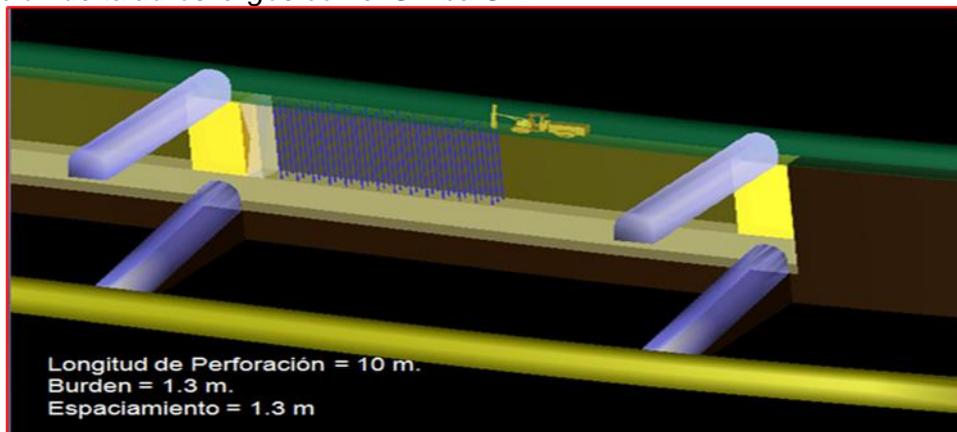
*Secciones de los taladros largos*



Fuente: Informe mensual de planeamiento. Pan American Silver S.A.

**Figura 12**

*Perforación de taladros largos con el Simba S7D*



Fuente: Método de explotación – Huarón - Pan American Silver S.A.

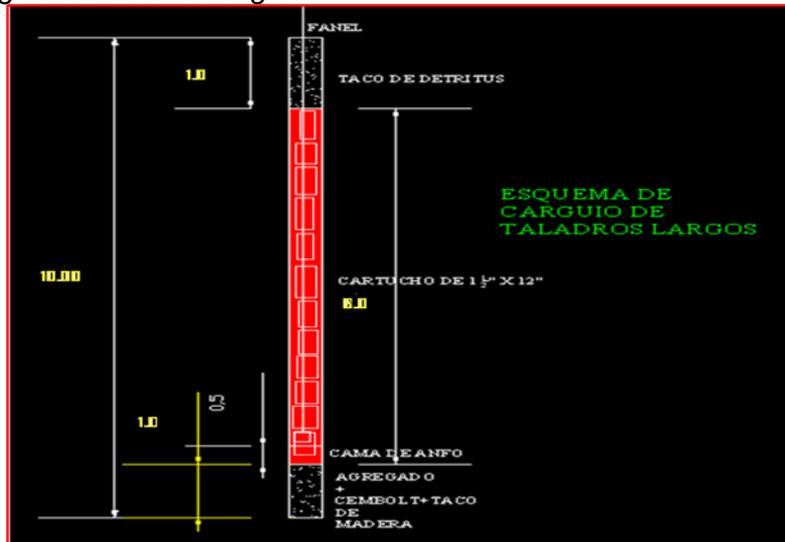
### **Voladura**

La voladura se realizará de manera secuenciada en tandas de tres filas de taladros, respetando el límite máximo de abertura después del cual se tendrá que realizar el relleno detrítico, se cargará con faneles de milisegundo y dinamita de 1 ½ por 12 plg. o emulsión

con las mismas dimensiones, con 27 cartuchos por taladros, 1 m. de taco en la parte inferior y 1.3 en la parte superior, factor de potencia de 0.3 Kg/Tn.

**Figura 13**

*Diseño de carguío de taladros largos*



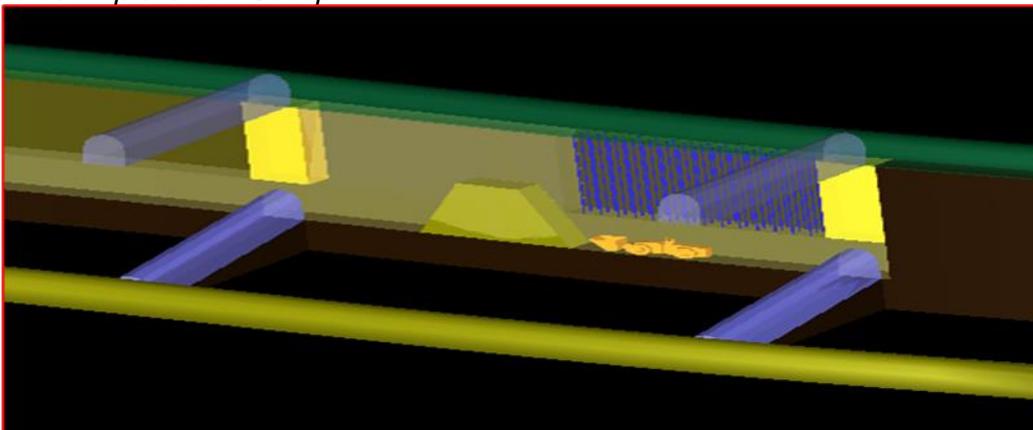
Fuente: Diseño de voladura. Pan American Silver S.A.

### **Limpieza.**

La limpieza se realizará con scoop de 4.2 yd<sup>3</sup> con control remoto la longitud de 15 m luego del cual se procederá con el relleno detrítico del tajo de tal forma que no se expone al equipo a la abertura.

**Figura 14**

*Diseño de limpieza con Scoop*



Fuente: Diseño de limpieza. Pan American Silver S.A.

### **Sostenimiento.**

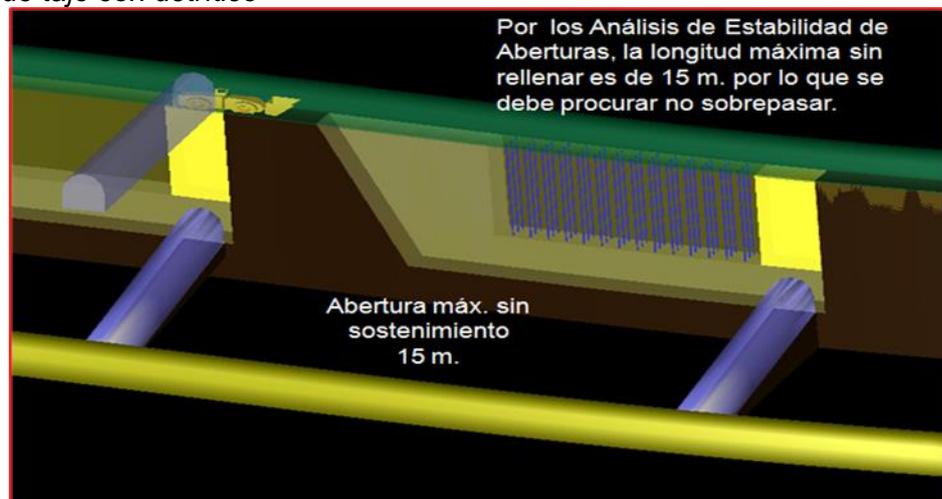
Debido principalmente a las características estructurales que presenta la masa rocosa del yacimiento, y de acuerdo a las dimensiones que se han adoptado en el diseño, el éxito del minado se sustenta básicamente en la combinación de los sistemas de soporte, es decir, la capacidad de atención y volumen del relleno, la instalación del concreto lanzado en combinación de los pernos de fricción, este último orientado para el desarrollo de las galerías y subniveles, con ello permitiendo la estabilidad local y global en todo el proceso de minado.

### **Relleno.**

El relleno que se realiza es con desmonte proveniente de los frentes de avance en desmonte y se realiza con scoop de 4.2 yd<sup>3</sup> por la ventana superior, dejando solo una abertura para no perder la cara libre y continuar con la voladura.

**Figura 15**

*Relleno de tajo con detrítico*



Fuente: Diseño de relleno con detrítico. Pan American Silver S.A.

### **2.2.10 Análisis de estabilidad de tajos de taladros largos**

#### **Análisis de Estabilidad Con PHASE 2.**

Mediante el análisis efectuado con el programa PHASE2, utilizando los datos presentados en las tablas del 5 al 10, considerando longitudes de tajos entre 12 y 18 m. y

alturas de 18.6 m. y 22.6 m. se obtuvieron los contornos de los esfuerzos principales máximos.

**Tabla 5**

*Propiedades de la masa rocosa*

Material Name	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Failure Criterion	Material Type	Intact Compressive Strength (MPa)	mb(peak)	s (peak)	a (peak)
Macizo Rocoso	1349.3	0.2	Generalized Hoek-Brown	Plastic	80	0.50735	0.00024	0.508086
Veta	615.8	0.2	Generalized Hoek-Brown	Plastic	25	0.261512	1.82912e-005	0.525561

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

**Tabla 6**

*Esfuerzos insitu*

Esfuerzo in-situ	MPa
Vertical ov	12.0
Horizontal oh	8
Constante k	0.7

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

**Tabla 7**

*Esfuerzos compresivos inducidos*

Longitud del tajo (metros)	Caja techo del tajo o1 - MPa
15	7

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

**Tabla 8**

*Relación de esfuerzos compresivos*

Longitud del tajeo (metros)	Caja techo del tajeo
15	11.36

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

**Tabla 9**

*Discontinuidades críticas y valores de B*

Ubicación	Sistema de Discontinuidad	Diferencia en rumbo	Diferencia en buzamiento	Factor B
Caja techo del tajeo Veta Tapada	1	0	0	0.2

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

**Figura 16**

*Número de estabilidad “N”*

**Cuadro N° 6.8 Número de estabilidad N’**

**MINERAL**  
Tipo Roca: Mala IV-B  
**VETA TAPADA Nv. 250 -320**

INGRESE DATOS		
Profundidad	370	m
Pespectivo	32.36	KN/m3
Estf. vertical(ev)	12	Mpa
k	0.7	Mpa
Estf. Horizontal(eh)	8	Mpa
UCS	25	Mpa

**Indice de Estabilidad Matheus**  
 $N' = Q' \times A \times B \times C$   
 Q' = es el indice de Calidad Tuenelero modificado  
 A = es el factor de esfuerzos en la roca  
 B = es el ajuste por orientacion de las juntas  
 C = es el factor de ajuste gravitacional

**Calculo de Q'**

$Q' = \frac{RQD \times Jr}{Jn \times Ja}$	
Tipo Roca:	Mineral
RQD:	30
Jn:	9
Jr:	2
Ja:	8
Q':	0.83

**Calculo de A**

$\sigma_c =$	25
$\sigma_1 =$	8
$\sigma_c / \sigma_1 =$	2.98
A =	0.21

**Calculo de B**

B =	0.3
-----	-----

**Calculo de C**

$\theta =$	80
C =	6.78

**Calculo de N'**

N' =	0.4
------	-----

**TECHO( CAJAS)**  
Tipo Roca: Regular III-A  
**VETA TAPADA Nv.320**

INGRESE DATOS		
Profundidad	370	m
Pespectivo	25.49	KN/m3
Estf. vertical(ev)	9	Mpa
k	0.7	Mpa
Estf. ....	7	Mpa
UCS	75	Mpa

**Indice de Estabilidad Matheus**  
 $N' = Q' \times A \times B \times C$   
 Q' = es el indice de Calidad Tuenelero modificado  
 A = es el factor de esfuerzos en la roca  
 B = es el ajuste por orientacion de las juntas  
 C = es el factor de ajuste gravitacional

**Calculo de Q'**

$Q' = \frac{RQD \times Jr}{Jn \times Ja}$	
Tipo Roca:	MARGA
RQD:	85
Jn:	9
Jr:	2
Ja:	8
Q':	2.38

**Calculo de A**

$\sigma_c =$	75
$\sigma_1 =$	7
$\sigma_c / \sigma_1 =$	11.38
A =	1.00

**Calculo de B**

B =	0.2
-----	-----

**Calculo de C**

$\theta =$	80
C =	6.78

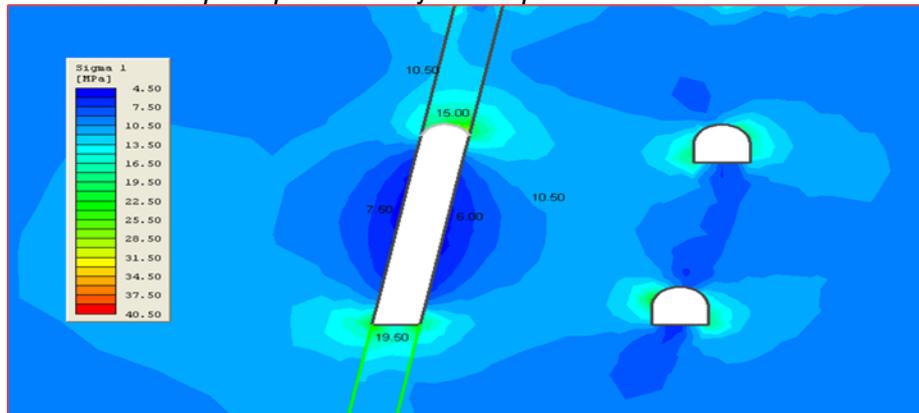
**Calculo de N'**

N' =	3.2
------	-----

Fuente: Informe técnico, minado por el método mixto, veta tapada. Operaciones mina, Superintendencia de Mina, Ingeniería y Planeamiento, Geología – Pan American Silver

**Figura 17**

*Contornos de esfuerzos principales en tajo de explotación*



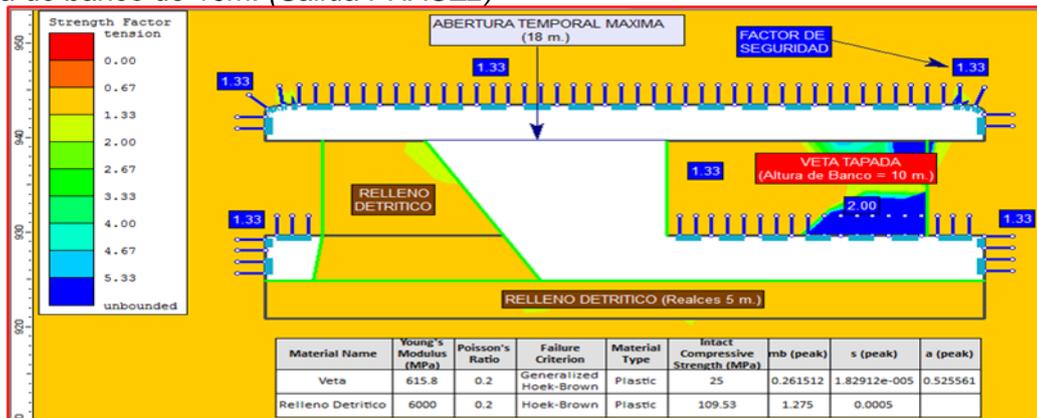
Fuente: Diseño geomecánico de tajos. Pan American Silver S.A.

Para una altura de bancada a 10 m. Mas el by pass superior e inferior, se tiene una altura total de 18.6 m. Notamos un F.S. = 1.33; mayor a 1, por lo que la excavación será estable y nos permite una longitud abierta hasta de 15 m.

Con esta reducción de altura de banco se obtendrá mejoras en el minado como: Reducción de la dilución de 100% a 0%, aumentar la recuperación de mineral, disminuir el volumen a acarrear y trasportar y los costos operativos.

**Figura 18**

*Sección longitudinal de la veta Tapada Luego de realizar los dos cortes es decir para una altura de banco de 10m. (Salida PHASE2)*



Fuente: Diseño geomecánico de tajos. Pan American Silver S.A.

### **2.2.11 Relleno hidráulico**

#### **Importancia**

El Relleno Hidráulico, así como cualquier método de relleno tiene dos fines primordiales: El primero es servir como piso de trabajo para efectuar la perforación, el disparo y el acarreo de mineral; y el segundo es servir de sostenimiento para que las cajas de las labores no colapsen debido al incremento de áreas abiertas.

La preparación para relleno y el bombeo del mismo son parte de las etapas de minado dentro del ciclo de explotación.

Generalmente, se utiliza el relave desechado por la planta concentradora para ciclonear, a fin de pasar las arenillas del relave (superiores a la malla -200), las que posteriormente caen a un tanque de agua donde es mezclado mediante un agitador. Esta mezcla de la arenilla del relave con el agua es el relleno hidráulico, el que es lanzado por una bomba de lodo recíprocante, a fin de ser transportado mediante una tubería de polietileno (HDPE) de 4" de diámetro.

Lo que da el nombre de hidráulico al relleno es la manera de transportarlo, en forma de pulpa a través de tuberías, haciendo uso de un fluido dinámico energizado, como lo es el agua, siguiendo las leyes de la hidráulica y que se comporta como vehículo de transporte.

Los finos del relave, resultantes del cicloneo, serán enviados y depositados a la cancha de relaves.

#### **Definición**

Se conoce con el nombre de Relleno Hidráulico (RH) a uno de los variados sistemas de rellenado de los espacios vacíos (tajos) dejados por la explotación minera, en el cual el material rellenante lo forman las colas o residuos - comúnmente llamado relaves - de las plantas concentradoras de minerales que pueden ser transportados como sólidos suspendidos en agua.

Lo que da el nombre de hidráulico al relleno es la manera de transportarlo, en forma de pulpa a través de tuberías, haciendo uso de un fluido dinámico energizado, como lo es

el agua, siguiendo las leyes de la hidráulica y que se comporta como vehículo de transporte.

### **Ventajas y desventajas del relleno hidráulico**

- Entre las principales VENTAJAS tenemos:
- Brinda un aceptable margen de seguridad.
- Mejoras las condiciones y el control de la ventilación, reduce la posibilidad de incendios y ayuda al combate de estos.
- Reduce la cantidad de polvo en el área de minado ya que la humedad del relleno recientemente emplazado es absorbida por el mineral roto.
- Facilita la mecanización del lugar de operaciones.
- Alta productividad.
- Se requiere poca mano de obra para la instalación, operación y mantenimiento.
- Gran capacidad de relleno versus pequeño espacio requerido.
- Es aplicable a una gran variedad de estructuras mineralizadas (cuerpos, mantos, vetas y otros) y se adapta a las formas irregulares de los tajeos.
- Flexibilidad de sistema (cambios de dirección) limpieza en el transporte y gran simplicidad de operación.
- Disminuye o puede eliminar el gran problema de almacenamiento de relaves.
- Equilibra el sistema de fuerzas resultantes de las labores explotadas, constituyéndose de esta manera en una especie de modelo de sostenimiento muy eficiente en la minería.
- El transporte hidráulico en tuberías es mucho más eficiente, económico y veloz, que el transporte a través de echaderos o equipos.
- Debido a su gran fluidez, rellena completamente los tajeos sin dejar vacíos hacia ningún lado (cosa que no sucede con el relleno convencional).
- Al entrar el relleno en forma de pulpa hacia las labores, este tiende a buscar su nivel, eliminando la necesidad de esparcimiento manual o mecánico.

## Figura 19

*El relleno hidráulico acelera el ciclo de explotación de los tajos*



Fuente: Método de explotación en Huaron. Pan American Silver S.A.

Entre las principales DESVENTAJAS o limitaciones, tenemos:

- El Relleno Hidráulico necesita una inversión inicial alta, requiere de una inversión de capital que se tiene que justificar con una adecuada producción.
- La introducción de agua en la mina puede crear problemas de sostenimiento e inundación y podría llegar a ser crítica si la mina se desagua por bombeo. El agua en exceso podría causar la desestabilización del macizo rocoso.
- Es peligroso si la preparación no está bien realizada (el relleno puede soplar).
- Gran necesidad de agua.
- Desgaste del equipo debido a la naturaleza abrasiva y corrosiva de los materiales a transportar.
- Cuando el relleno está constituido por relave con alto contenido de Pirita y Pirrotita, la oxidación de estos sulfuros eleva considerablemente la temperatura, produciendo anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ); y como bien se sabe estos efectos son indeseables en las labores mineras, más aun si no se cuenta con una ventilación adecuada.

- Los finos del relleno pueden ser arrastrados con el agua y depositados en las galerías, causando problemas en la limpieza de estas. Un sistema bien diseñado puede minimizar hasta eliminar el problema.

### 2.2.12 Clasificación y bombeo de relave

El relave clasificado para su uso como relleno hidráulico es transportado a la mina para que sean depositados en los vacíos dejados por la explotación a través de un sistema de bombeo que consiste en la puesta en operación de un conjunto de bombas que es el medio que da impulso al relave que mediante tuberías hdpe es transportado a interior mina.

La clasificación de sólidos se realiza con la utilización de hidrociclones el cual separa del total de relaves la parte útil que será usada como relleno hidráulico (gruesos).

Un relleno con sólidos por debajo de malla 200 con menos de 20% de fracción es recomendable porque satisfacen las condiciones de velocidad de percolación, compacidad y uniformidad.

La clasificación se efectúa mediante un análisis granulométrico utilizando mallas de la serie de Tayler. El mismo análisis se realizará para muestras obtenidas de las tres aberturas del hidrociclón: Feed (Alimentación), Under (Fracción gruesa) y Over (Fracción fina).

**Tabla 10**

#### Análisis granulométrico

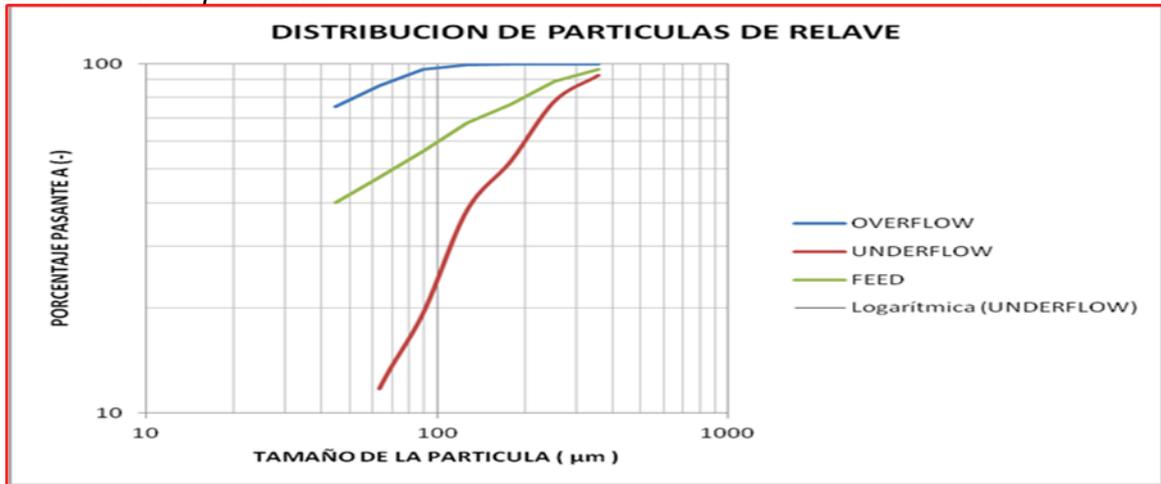
Malla	Abertura en micrones	Promedio micrones	Feed to cyclone D20			Cyclone D20			Feed to cyclone D20			Cyclone D20		
			Peso	% Peso	Acum(-)	Peso	% Peso	Acum(-)	Peso	% Peso	Acum(-)	Peso	% Peso	Acum(-)
50	300	357	78.80	3.65	96.35	245.00	7.13	92.87	0.40	0.02	99.98			
70	212	252	160.60	7.44	88.91	500.20	14.56	78.31	0.80	0.04	99.94			
100	150	178	270.00	12.51	76.40	880.00	25.62	52.89	6.00	0.31	99.63			
140	106	126	189.40	8.78	67.62	501.80	14.61	38.08	3.60	0.19	99.44			
200	75	89	246.40	11.42	56.20	643.40	18.73	19.35	63.60	3.29	96.15			
270	53	63	189.80	8.79	47.41	261.20	7.60	11.74	183.60	9.50	86.64			
400	38	45	158.00	7.32	40.09	195.00	5.68	6.07	213.60	11.06	75.59			
- 400	0	0	865.20	40.09	0.00	208.40	6.07	0.00	1460.2	75.59	0.00			
			2158.2	100.0		3435.0	100.0		1931.8	100.0				

Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

De este análisis se obtiene la siguiente distribución de partículas de relave, donde en el eje “x” se tiene el tamaño de partículas en micrones y en el eje “y” se tiene el porcentaje pasante (-), todo esto en una hora logarítmica.

**Figura 20**

*Distribución de partículas*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

De este proceso el uso de las partículas de relave serán las del UNDERFLOW, que fueron el resultado del ingreso de relave por el ciclón de 20 “en planta concentradora.

### **Bombas**

La bomba es una máquina que toma la energía mecánica, que puede provenir de un motor eléctrico o de otro tipo y la transforma en energía que las transfiere a un fluido para moverlo de un lugar a otro, en un mismo nivel y/o a diferentes niveles.

El transporte del relave en forma de pulpa a menudo requiere de bombas. Los tipos de bombas requeridos dependen de la concentración, peso y propiedades químicas de la pulpa. Los modelos de bombas existentes para este tipo de trabajo son semejantes a las usadas para agua pura, pero con recubrimientos, diseño y aditamentos especiales para evitar al máximo el desgaste por abrasión debido a los sólidos, llegando en la mayoría de los casos a sacrificar el rendimiento mecánico e hidráulico.

Las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo son dos de los tipos de bombas comúnmente usados para transporte de pulpas.

Para la selección de una bomba, se debe considerar los siguientes parámetros:

- La naturaleza del líquido a ser bombeado.
- La capacidad requerida (Volumen)
- Las condiciones en el lado de la succión de la bomba.
- Las condiciones en el lado de la descarga de la bomba.
- La cabeza total de la bomba.
- El tipo de sistema (disposición de la red de tuberías) que conducirá el fluido.
- El tipo de la fuente de energía.
- Limitaciones en el espacio, peso y posición.
- Condiciones ambientales.
- Costo de capital e instalación.
- Costo de operación.

### Figura 21

#### *Bombas para pulpas*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

#### **Sistema de bombeo Planta – Silo R.H.**

La mena es polimetálica, constituida por minerales de cobre, plata, plomo y zinc.

La ganga está compuesta por pirita, roderita, cuarzo, etc.

El mineral del tolvín de gruesos de 100 ton de capacidad es extraído mediante un aprom feeder y conducido hacia la selección de chancado primario y secundario donde se realiza la trituración del mineral, obteniéndose como producto final de chancado al 100% - tamaños de 5/8". Este producto se almacena en 5 tolvas de finos de 300 toneladas de

capacidad cada uno, y estas alimentan a la sección de molienda. Se tiene molienda primaria y secundaria en molino de bolas de 12'x16'; 8'x8"y 8"x3', y la clasificación se realiza en ciclones D-20" para obtener una pulpa de 60\_61% con malla 200.

El relave es evacuado mediante una bomba Spiazza de 10 "x 8 " , hacia un ciclón D-20

### **Figura 22**

*Bomba Spiazza de 10 x 8 "*



Fuente: Informe de planta concentradora. Pan American Silver S.A.

El relave que llega al ciclón D-20" es clasificado y se obtienen dos productos: el grueso es bombeado hacia el silo nuevo para ser usado como relleno hidráulico; y el fino es depositado en la presa de relaves N°5

### **Figura 23**

*Ciclón D - 20"*



Fuente: Informe de planta concentradora. Pan American Silver S.A.

El bombeo de los gruesos es mediante 3 bombas de lodos horizontales que trabajan en forma simultánea, el cual tiene un caudal final de 76.5 m<sup>3</sup>/Hr. Dicho bombeo llega a una bomba intermedia, la cual envía el relave hacia el silo Nuevo (500 m<sup>3</sup>) donde es depositado. Las bombas en serie son:

- 01 bomba denver de 5" x 4 "
- 02 bomba svedala de 5 x 4 "

#### **Figura 24**

*Silo nuevo depósito de relleno hidráulico*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

#### **Figura 25**

*Bomba Svedala HR-100 de 4"x3"*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

### **Bombeo de pulpa silo a interior mina**

Cuando mina requiere relleno hidráulico este es enviado desde el Silo Nuevo. El relleno es utilizado en los diferentes niveles tales como en el Nv. 180, nivel 250, nivel 320, 420, y 450.

Para el relleno se usa una bomba svedala de 5"x4" y se bombea hacia el interior mina, llegando el caudal de relleno en el tajo o labores con un caudal de 30 m<sup>3</sup>/hr, y mediante tubería HDPE de 4 pulgadas en toda su longitud.

Los primeros 5 metros de tuberías en las salidas de las bombas están hechas de fierro para poder soportar la presión que se genera en las bombas cuando se inicia el bombeo.

### **Figura 26**

*Bombas Svedalas – silo nuevo*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

### **Propiedades del Relleno hidráulico.**

El relleno hidráulico es usado en la mina Huaron como medio para equilibrar el sistema de fuerzas resultantes de las labores explotadas, constituyéndose de esta manera en una especie de modelo de sostenimiento muy eficiente.

El relave usado deberá poseer ciertas condiciones que conduzcan a la obtención de un buen relleno hidráulico, que sea fácil de transportar y que satisfaga los requerimientos de estabilidad de la explotación minera.

### **Características de los sólidos para relleno hidráulico.**

El diseño de relleno en mina subterránea dependerá de los siguientes parámetros:

- Flujo dinámico de tratamiento; el cual nos dará la cantidad de volumen disponible de relleno.
- Grado de molienda para la liberación del mineral, el cual nos dará la calidad de material para determinar las propiedades físicas y de resistencia del relleno.

Un factor importante para la determinación de los parámetros anteriormente indicado es la clasificación de los sólidos del relave.

### **Coefficiente de Uniformidad (Cu)**

El coeficiente de uniformidad es un número adimensional, que es el cociente entre el D60 y el D10.

El D60, se define como el diámetro de la partícula de mayor tamaño presente en el 60% de la fracción acumulativa (-) del material.

El D10, se define como el diámetro de la partícula de mayor tamaño presente en el 10% de la fracción acumulativa (-) del material.

Según los estudios realizados el coeficiente de uniformidad (CU) ideal para un relleno hidráulico es aquel que se encuentra entre el intervalo de 4 a 5.

Si el CU es > 5, indica la presencia de gran cantidad de partículas finas, originando la obstrucción en la percolación del agua.

Si el CU es < 4, indica la presencia de una baja concentración de partículas finas en el material, haciendo que la percolación del agua sea mayor originando el fenómeno denominado "Embudo".

$$Cu = D60 / D10$$

Del gráfico de distribución de partículas se puede determinar el D60 y D10.

$$D60 = 201 \mu m \quad D10 = 50 \mu m$$

$$Cu = 201 \mu\text{m} / 50 \mu\text{m}$$

$$Cu = 4.02$$

Este resultado se encuentra entre el intervalo de 4 y 5, cumpliendo con las condiciones estándar para una buena granulometría de los sólidos para el uso del relave como relleno hidráulico en interior mina.

### **Velocidad de percolación (VP)**

Llamado también coeficiente de permeabilidad es un fenómeno que consiste en la circulación rápida o lenta de un volumen determinado de agua a través del relleno en una unidad de tiempo.

Es una medida de la velocidad con el que el agua pasa a través del material de relleno hidráulico.

El Cu y la Vp están relacionados entre sí, guardando una proporcionalidad inversa expresada en la siguiente relación:

$$V_p = (D_{10} \times 6/100)^2$$

$$V_p = 9 \text{ cm} / \text{hr}$$

Donde:

VP: Velocidad de percolación expresada en cm / hr.

D10: diámetro de la partícula de mayor tamaño presente en el 10% de la fracción acumulativa (-) Del material; se expresa en micrones  $\mu\text{m}$ .

**Velocidad de percolación > 20**, un valor mayor a 20 puede causar el fenómeno de embudo, lo que significa que se formará pequeños conductos abiertos dentro de la masa granular del relleno, el que a su vez causará el flujo de la pulpa a gran velocidad con posible afección a los accesos y formando vacíos en la masa de relleno ocasionando derrumbes, además de la pérdida de una cantidad considerable de relleno hacia las labores.

**Velocidad de percolación < 4**, Un valor menor significa un empleo mayor de tiempo en la eliminación del agua de los tajos, ocasionando demora en el retorno del

personal a su labor, por consiguiente, mayor tiempo en el ciclo de minado siendo esto antieconómico.

Como conclusión una velocidad de percolación entre 4 y 20, es el óptimo; nuestra  $V_p$  es de 9 cm / hr, estando en un escenario favorable para el relleno en mina Huaron.

En campo se realiza la medición de la velocidad de percolación usando una tubería hdpe de 4 pulgadas de diámetro y longitud de 1.3 m, el cual tiene orificios en todo el largo del tubo en mención. Esto es con la intención de que ingrese el relleno hidráulico por los orificios generando las mismas condiciones de relleno para luego poder medir la percolación insitu.

### **Figura 27**

*Tubo para medición de percolación*



Fuente: Informe de servicio mina. Pan American Silver S.A.

En las mediciones en campo a intervalos de 5 y 10 minutos, se tiene resultado promedio de 8.8 cm/hr.

La diferencia entre el teórico y práctico es de  $9 \text{ cm/hr} - 8.8 \text{ cm/hr} = 0.2 \text{ cm/hr}$ , el cual está dentro del rango.

### **Velocidad de compactación (VC)**

Los materiales cohesivos se compactan mejor bajo cargas dinámicas. La eficiente compactación de estos materiales a su máxima densidad está en muchos casos, en relación al contenido de agua del material.

La cantidad de agua presente debe ser suficiente como para lubricar las partículas; un exceso de agua llenará los vacíos y creará tensiones neutras positivas en el suelo, reduciendo así su densificación.

Para hallar la velocidad de compactación se realiza la prueba de slump (prueba de Abrams).

Los materiales usados son:

**Cono de Abrams**, Es un molde metálico tipo tronco de cono. Los dos círculos de las bases son paralelos entre si midiendo 8 pulg de diámetro (circulo base) y 4 pulg de diámetro (circulo superior). La altura del molde es de 12 pulg. Este molde se construye con plancha de acero galvanizado. Se sueldan al molde asas y aletas de pie para facilitar la operación.

**Barra compactadora**, es una varilla de acero recta y lisa con un extremo redondeado, diámetro igual a 16 mm y 60 cm de longitud.

**Plancha**, construida de material metálico no absorbente, con dimensiones de 50 cm de ancho, 60 cm de largo y 4mm de espesor. Contiene 2 asas en ambos lados.

**Cucharón**, hecha de aluminio con una capacidad de 1 kg.

## Figura 28

### Medición de velocidad de compactación



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

#### Procedimiento:

- Se saca una muestra de relleno hidráulico, en este caso del tajo 371.
- Se coloca la plancha metálica en superficie lisa del piso, luego el cono metálico se pone sobre esta superficie manteniéndolo inmóvil, pisando las aletas laterales del cono.
- Se llena el molde del cono 1/3 del volumen y golpee este con 25 golpes utilizando la barra de acero. Distribuyendo uniformemente los golpes sobre la sección en forma de espiral, desde el borde exterior hacia adentro.
- Se sigue llenando el cono los 2/3 de su volumen, y de nuevo se golpea 25 veces con la barra penetrando 1 pulg de la primera capa, pero no atravesándola. Se distribuye los golpes según el procedimiento “c”.
- Al compactar la capa superior se debe de mantener el relleno sobrepasado el tope del molde en todo momento. Se enrasa el relleno al tope del cono usando la barra compactadora.
- Se retira el cono metálico y se coloca de manera invertida al lado del molde de relleno libre. Todo este procedimiento no debe de sobrepasar los 2.5 minutos.

- Se coloca la barra de acero horizontalmente sobre el molde invertido para que la barra se extienda sobre el molde de relleno libre. Inmediatamente después se mide la distancia de la parte inferior de la barra de acero al centro original de la parte superior de la muestra de relleno. Esta distancia no debe de sobrepasar una pulgada lineal.

## Figura 29

*Medición de velocidad de compactación en laboratorio*



Fuente: Informe de servicio mina. Pan American Silver S.A.

### **Densidad Relativa.**

Teóricamente la densidad relativa es la comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra, que se toma como referencia.

Las dos sustancias deben expresarse en las mismas unidades, iguales condiciones de temperatura y presión.

Dado que la densidad relativa es el cociente entre dos medidas, esta carecerá de unidades y será adimensional

Se puede hallar con la siguiente expresión matemática:

$$Pr = P / Pf$$

Pr: Densidad Relativa

P: Densidad Absoluta

Pf: Densidad de Referencia

Se toma las muestras respectivas en el silo nuevo, usando la balanza Marcy.

### Figura 30

*Muestras de tomas de densidades en silo nuevo*



Fuente: Elaboración propia

Densidad del R. Hidráulico

Densidad el Agua      1000 gr/cm<sup>3</sup>

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación de la densidad relativa se tiene:

$$Pr = \frac{1800 \text{ gr/cm}^3}{1000 \text{ gr/cm}^3}$$

Finalmente, la densidad relativa del relleno hidráulico es 1.8.

#### **Velocidad de Consolidación.**

Los tipos de suelos experimentan deformaciones cuando se los sujeta a un cambio en las condiciones de esfuerzos.

Las características esfuerzo – deformación de un suelo dependerá del tipo de suelo, de la forma en que es cargada, donde se ubica en la naturaleza, etc.

Además, estas deformaciones no siempre se producen instantáneamente ante la aplicación, sino a lo largo del tiempo.

Cuando a un suelo se somete a un incremento de esfuerzos totales, como resultado de cargas externas aplicadas, se produce un excedo de presión intersticial (presión neutra). Puesto que el agua no resiste al corte, la presión neutra se disipa mediante un flujo de agua al exterior, cuya velocidad de drenaje depende de la permeabilidad del relleno.

Esta disipación de presión intersticial debido al flujo de agua hacia el exterior se denomina consolidación, proceso que tiene 2 consecuencias:

- Reducción del volumen de poros, por lo tanto, reducción del volumen total, produciéndose un asentamiento de la superficie de relleno. Se considera que en el proceso de consolidación unidimensional la posición relativa de las partículas sobre un mismo plano horizontal permanece esencialmente igual, el movimiento de las mismas solo puede ocurrir verticalmente.
- Durante la disipación del exceso de presión intersticial, la presión efectiva aumenta y se incrementa la resistencia del piso del relleno hidráulico para que puedan luego acceder los equipos pesados sobre él.

Por lo tanto, cuando un suelo se consolida ante una carga externa se produce una disminución de la relación de vacíos y un incremento del esfuerzo efectivo.

En los suelos granulares como del relleno hidráulico la permeabilidad es óptima, por lo tanto, se disipa rápidamente las presiones neutras.

### **Saturación de suelos**

El relleno hidráulico contiene un volumen de masa y otra de vacíos los cuales pueden estar llenos de agua y un porcentaje casi nulo de aire, donde tanto la masa sólida como el agua son incompresibles, cuando se presentan deformaciones son producto de una disminución del volumen de la masa del suelo y de una reducción del volumen de vacíos; la diferencia depende del grado de saturación del piso que hará el relleno hidráulico.

## **Consolidación**

Es la reorientación de las partículas y la expulsión del agua que se encuentran en los espacios del relleno hidráulico, que al ser sometidos a cargas externas genera una reducción en el volumen del mismo. La consolidación se clasifica en 2, primaria o secundaria.

La consolidación primaria es cuando cargado el suelo, la reducción de volumen se debe a la expulsión del agua, fenómeno en que se transfiere la carga soportada por el agua al esqueleto mineral.

### **Coefficiente de consolidación (Cv).**

Es el valor numérico utilizado en los cálculos de consolidación para determinar el tiempo necesario para que se produzca un porcentaje de consolidación (U), en una masa de suelo. Hallando este coeficiente podemos definir la consolidación.

### **Cálculo del coeficiente de consolidación**

El coeficiente de consolidación se calcula mediante el método del logaritmo del tiempo, este es un método gráfico en el cual de un gráfico logarítmico (tiempo vs deformación) se toman lecturas del tiempo en el cual se da el 50 % de la consolidación y se relaciona con el factor tiempo, finalmente se despeja el valor Cv.

Se hace las pruebas de consolidación, para tal se realiza con el apoyo de un horno, recipientes, herramientas de corte, cronómetro, piedras porosas, dispositivos de carga, elementos de carga, balanza y deformímetro.

Las muestras de relleno hidráulico deben estar sellados con parafina obtenidos adecuadamente, buscando que pierdan la mínima humedad.

A continuación, se muestra el incremento de carga en la muestra.

**Tabla 11**

*Incremento de carga en muestra*

ESCALÓN DE CARGA						
	Peso aplicado Kg	Relación carga	Carga Aplicada Kg	Presión kg/cm2	Presión N/m2	Presión KN/m2
Carga básica	4	10	40	2,035	199,847,650	200
Incremento de carga	4	10	40	2,035	199,847,650	200
Carga Final	8	10	40	4,070	399,695,300	400

Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

**2.2.13 Costos de relleno hidráulico en tajos**

**Tabla 12**

*Costo de relleno hidráulico convencional por m3*

DESCRIPCIÓN	COSTO DE RELLENO HIDRÁULICO CONVENCIONAL POR M3					
PARAMETROS PRINCIPALES						
Ancho de sección	0	m		Rendimiento	50.00	m3/gda
					30.00	m3/hora
Horas por turno		8-00	Horas			
SUB-PARTIDAS	INCIDENCIA	UNIDAD	CANTIDAD x Hr	PRECIO US\$	SUB TOTAL	TOTAL US\$/m3
<b>a. MANO DE OBRA</b>						
Supervisor de Servicios	0.50	H-H	8.00	9.10	36.38	0.728
Servidor General Mina A	0.75	H-H	8.00	4.34	26.02	0.520
Operador relleno hidráulico B	1.00	H-H	8.00	5.12	40.96	0.819
Operador relleno hidráulico A	1.00	H-H	8.00	5.12	40.93	0.819
<b>SUB TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>32.00</b>	<b>13.43</b>	<b>62.40</b>	<b>2.89</b>
<b>b. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD</b>						
Supervisor de Servicios	0.50	Hora	4.00	0.48	1.92	0.0383
Servidor General Mina A	1.00	Hora	16.00	0.34	5.44	0.1088
Operador relleno hidráulico B	1.00	Hora	8.00	0.34	2.72	0.0544
Operador relleno hidráulico A	1.00	Hora	8.00	0.34	2.72	0.0544
<b>SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD</b>			<b>36.00</b>	<b>1.50</b>	<b>12.80</b>	<b>0.26</b>
<b>c. MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>						
Herramientas		Gdia	16.00	0.16	2.56	0.051
Tubería de 4"		m	3.57	39.20	140.00	2.800
Hidrocoplas		Und	0.07	344.00	24.57	0.491
Tela arpillera		m	2.38	10.08	24.00	0.480
Cadena de slavon		Kg	0.36	13.84	4.94	0.099
<b>SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>					<b>2.56</b>	<b>3.921</b>
<b>d. COSTO DE BARRERA MADERA</b>						
Alambre N° 8		Kg	0.05	11.44	0.57	0.0002
Costo tablas		Pie2	0.77	2.56	1.98	0.001
Costo puntales 4"		Und	0.08	115.36	9.23	0.003
Costo puntales 6"		Und	0.06	311.68	18.70	0.006
<b>SUB TOTAL MURO DE CONCRETO</b>					<b>30.48</b>	<b>0.01</b>
<b>e. COSTO DE ENERGÍA</b>						
Bomba svedala 1		H-E	100.00	0.06	6	0.12
Bomba svedala 2		H-E	50.00	0.06	3.0	0.06
Bomba sello de agua		H-E	100.00	0.06	6	0.12
Bomba agitador		H-E	100.00	0.06	6	0.12
<b>SUB TOTAL ENERGIA</b>					<b>21</b>	<b>0.42</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					US\$/m3	7.49
<b>COSTO POR METRO CÚBICO</b>					US\$ x m3	7.49

Fuente: Elaboración propia.

**Línea base:**

**Relleno hidráulico convencional:**

- Rendimiento: 30 m3/Hr.
- costo Relleno Hidráulico = 7.49 \$/m3
- Caudal de bombeo Pulpa = 76 m3/Hr  
 Agua = 45.6 m3/Hr.  
 Sólidos = 30.5 m3/Hr.
- Capacidad de silo = 500 m3
- Horas de Bombeo = 100 horas/mes.

**Costo de relleno hidráulico mecanizado.**

**Tabla 13**

*Costo de relleno hidráulico mecanizado*

DESCRIPCIÓN	COSTO DE RELLENO HIDRÁULICO MECANIZADO POR M <sup>3</sup>					
PARAMETROS PRINCIPALES						
Ancho de sección	0	m	Rendimiento	200.00	m3/gda	
				30.00	m3/hora	
Horas por turno	8.00	Horas	US\$			
SUB-PARTIDAS	INCIDENCIA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL	TOTAL
<b>a. MANO DE OBRA</b>						
Supervisor de Servicios	0.50	H-H	8.00	9.10	36.38	0.182
Servidor General Mina A	0.75	H-H	8.00	4.34	26.02	0.130
Operador relleno hidráulico B	1.00	H-H	8.00	5.12	40.96	0.205
Operador relleno hidráulico A	1.00	H-H	8.00	5.12	40.93	0.205
SUB TOTAL MANO DE OBRA			32.00	13.43	62.40	0.72
<b>b. IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD</b>						
Supervisor de Servicios	0.50	Hora	4.00	0.48	1.92	0.0096
Servidor General Mina A	1.00	Hora	16.00	0.34	5.44	0.0272
Operador relleno hidráulico B	1.00	Hora	8.00	0.34	2.72	0.0136
Operador relleno hidráulico A	1.00	Hora	8.00	0.34	2.72	0.0136
SUB TOTAL IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD			36.00	1.50	12.80	0.06
<b>c. MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>						
Herramientas		Gdia	16.00	0.16	2.56	0.013
Tubería de 4"		M	1.19	39.20	46.67	0.233
Hidrocoplas		Und	0.01	344.00	4.91	0.025
Tela arpillera		m	0.24	10.08	2.40	0.012
Cadena de slavon		Kg	0.12	13.84	1.65	0.008
SUB TOTAL MATERIALES Y HERRAMIENTAS					2.56	0.291
<b>d. COSTO DE MURO DE CONCRETO</b>						
Muro de concreto		Und	4.00	3,866.53	15,466,12	1.29
SUB TOTAL MURO DE CONCRETO						1.29
<b>e. COSTO DE ENERGÍA</b>						
Bomba svedala 1		H-E	420.00	0.06	25.2	0.13
Bomba svedala 2		H-E	100.00	0.06	6.0	0.03
Bomba sello de agua		H-E	420.00	0.06	25.2	0.13
Bomba agitador		H-E	420.00	0.06	25.2	0.13
SUB TOTAL ENERGIA					81.06	0.41
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				US\$/m3		2.77
<b>COSTO POR METRO CÚBICO</b>				US\$ x m3		2.77

Fuente: Elaboración propia

**Línea base:**

**Relleno hidráulico mecanizado:**

- Rendimiento: 30 m<sup>3</sup>/Hr.
- costo Relleno Hidráulico = 7.49 \$/m<sup>3</sup>
- Caudal de bombeo Pulpa = 76 m<sup>3</sup>/Hr  
Agua = 45.6 m<sup>3</sup>/Hr.  
Sólidos = 30.5 m<sup>3</sup>/Hr.
- Capacidad de silo = 500 m<sup>3</sup>
- Horas de Bombeo = 420 horas/mes

## Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

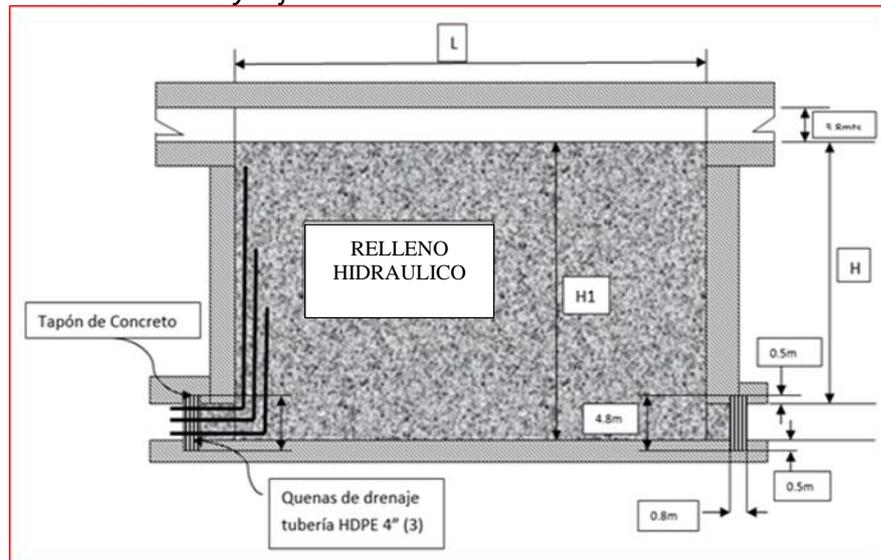
### 3.1 Construcción de muro de concreto

#### 3.1.1 Diseño y construcción de muro en TAJO 871D -W.

- Primero se ubica el tajo a rellenar, para marcar el punto donde se va a realizar el tapón de concreto antes de iniciar el relleno hidráulico del Tajo.

Figura 31

Perfil esquemático de muro y tajo

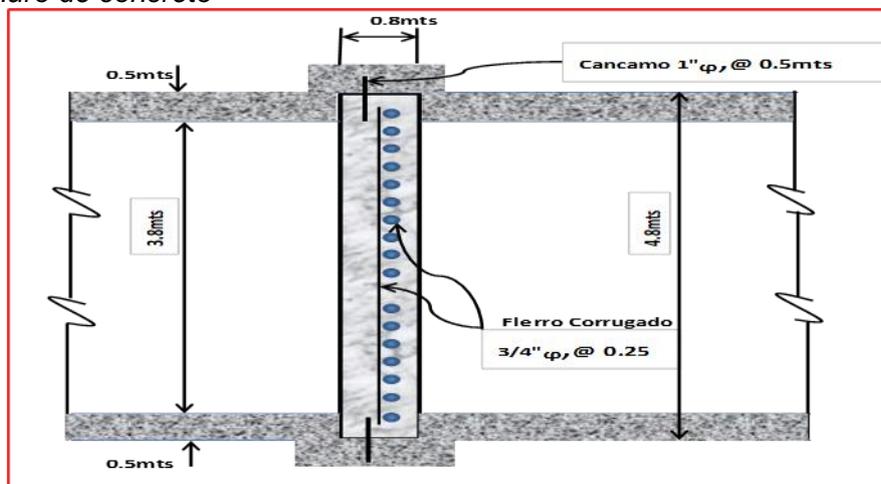


Fuente: Informe de servicio mina. Pan American Silver S.A.

- El muro de concreto armado debe toda la sección de la labor, un espesor de 0.8 m

Figura 32

Perfil de muro de concreto



Fuente: Informe de servicio mina. Pan American Silver S.A.

- Se debe realizar desquinche de un canal alrededor de la sección
- El muro de concreto debe ser indentado a la roca por sus cuatro lados (corona, 2 hastiales, y piso), el indentado o canal tendrá una profundidad de 0.5 m.

### Figura 33

*Desquinchado de canal para muro*



Fuente: Elaboración propia

- En el canal del indentado se tendría 2 fierros cementados y separados a una distancia de 0.5 m en filas, este par de fierros se debe colocar alrededor de todo el canal, desde el hastial izquierdo, corona, hastial derecho, piso y terminar en el punto donde inició separados también 0.5m. Esto sirve para poder amarrar el alma del muro principal con las mechas que salen del endentado.
- El enmallado con fierro de  $\frac{3}{4}$ " de 50 cm de espaciado, será de doble alma en los fierros endentados y amarrado en forma de cuadrícula.

### Figura 34

*Encofrado de muro*



Fuente: Elaboración propia

Los empalmes del fierro de  $\frac{3}{4}$ " se realizarán con alambre N° 16.

### Figura 35

*Enfierrado de muro*



Fuente: Elaboración propia

- Se realiza encofrado ambas caras con tablas o paneles los cuales también deben estar endentados.

### Figura 36

*Encofrado en ambas caras*

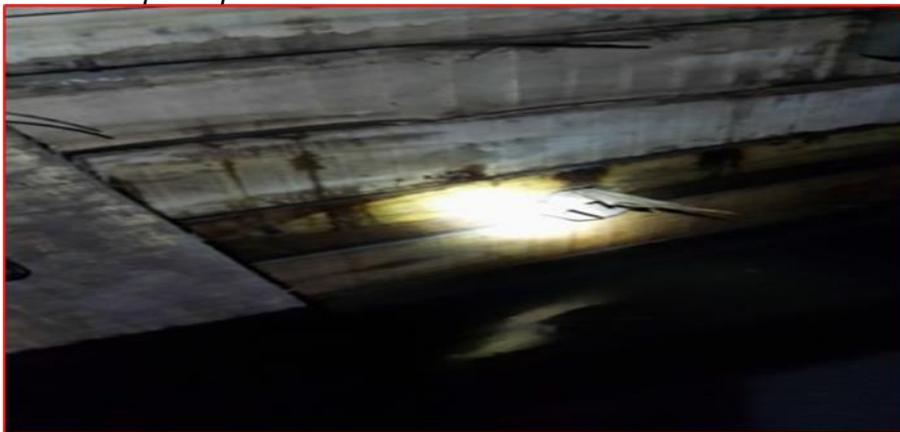


Fuente: Elaboración propia

- En el proceso de encofrado se deberá dejar 3 quenas de tubo de HDPE 4" separados cada 1 m en forma vertical, los cuales servirán como drenaje.

### Figura 37

*Colocado de tubería para quenas*



Fuente: Elaboración propia

Se asegura el encofrado con alambre N° 8, para evitar soplo de encofrado.

### Figura 38

*Armado de fierro de 3/4" con alambre*



Fuente: Elaboración propia

- Se realiza proceso de vaciado con mixer y robot para bombear el mortero.
- Se realiza desencofrado del muro (cara externa), para recuperar las tablas y/o paneles de madera.
- Se lanza shotcrete por todas las fisuras de los hastiales y la corona y evitar que se derrame relave fino.

### Figura 39

*Lanzado de shotcrete entre concreto y roca*



Fuente: Elaboración propia

- Se colocará las válvulas de 4" en las quenas dejadas para controlar drenaje de agua durante proceso de relleno.

## Figura 40

Instalación de válvula de 4" Ø para desfogue



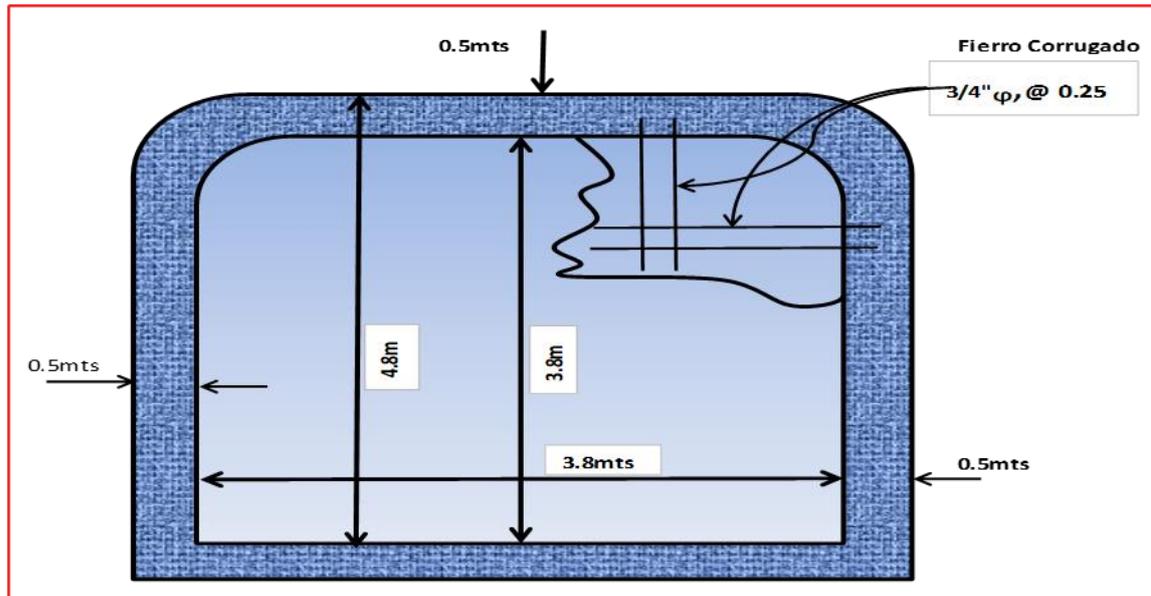
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2 *Materiales y equipos utilizados*

- Fierro corrugado de ¾".
- Tablas de madera 3 m x 0.2 m x 2".
- Alambre N° 8.
- Alambre N° 16.
- Mortero 260 Kg/cm<sup>2</sup>
- Equipo Robot.
- Equipo Mixer.
- Válvula de 4".
- Tubería de HDPE 4".

**Figura 41**

Vista frontal de muro



Fuente: Informe de planeamiento. Pan American Silver S.A.

### 3.1.3 Cálculo de resistencia de muro de concreto

**PRESION= DENSIDAD X ALTURA**

$$P1=3\text{TN/m}^3 \times 18.8\text{m}$$

$$P1=56.40\text{tn/m}^2$$

$$PT = 56.40\text{tn/m}^2 + 30 \% (56.40\text{tn/m}^2)$$

Factor de Seguridad = 30%

$$PT= 73.32\text{tn/m}^2$$

**PRESION = FUERZA/AREA**



**FUERZA = PRESION X AREA**

$$F = 73.32\text{tn/m}^2 \times 3.8\text{m} \times 1.0\text{m}$$

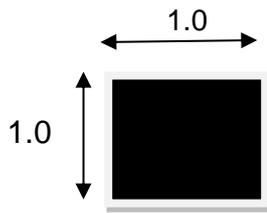
$$F = 278.62\text{TN}$$

$$F = 278,620\text{kg}$$

**TOMANDO DEFLEXION MAXIMA**

$$\Delta \text{ max} = \frac{F \times L^3}{84 \times E \times I}$$

## MOMENTO DE INERCIA



$$I = 1/12 \times b^3 \times h$$

$$I = 1/12 \times (100\text{cm})^3 \times (380\text{cm})$$

$$I = 31,666,666.67\text{cm}^4$$

### Módulo de Elasticidad del Concreto (E)

Según Tabla = Concreto 300kg/cm<sup>2</sup> = 340,000kg/cm<sup>2</sup> = E

### POR TANTO:

$$\Delta \text{ máx} = \frac{278,620\text{kg} \times (380\text{cm})^3}{84 \times 340,000\text{kg/cm}^2 \times 31,666,666.67\text{cm}^4}$$

$$\Delta \text{ máx.} = 0.017\text{cm}$$

$$\Delta \text{ máx.} = 1.7\text{mm.}$$

## 3.2 Proceso de relleno hidráulico TJ 871D-W – Taladros largos

Debido a la mecanización de mina Huaron, se rellenan los tajos de taladros largos:

### 3.2.1 Preparación de muro de contención en TJ 871D-W

- En la parte inferior del tajeo (piso) se dispara un canal de 0.8 m x 0.5 m a lo largo de toda la sección (piso, hastiales y corona).
- Se inyecta pernos dentro de todo el canal con una cuadrícula de 0.5 x 0.5 (toda la sección).
- Se amarra dos almas de fierro de 3/4" separadas 0.5 m, con una cuadrícula de 0.5 x 0.5 m. Estos fierros zona amarrados a los pernos.
- Se deja 3 tubos de 4 pulgadas y longitud 3m, las cuáles servirán para drenaje del agua cuando posteriormente se lance relleno hidráulico. El primer tubo se colocará a 1 metro del piso, el segundo a 2 metros del piso y el último a 3 metros del piso.
- Se encofra ¾ partes del muro y se coloca mortero de concreto. No se vacía todo el muro debido a que se tiene que instalar las 3 tuberías de drenaje antes.

- Luego de colocado las 3 válvulas e instalado las tuberías de drenaje se procede a vaciar mortero la  $\frac{1}{4}$  parte restante.
- Luego de sellado el muro se lanza shotcrete entre el muro y la roca circundante a esta, para evitar posibles fugas de relleno hidráulico.
- Con esto se tendrá un muro con alma de fierro de 0.8 m de espesor y endentado hacia la roca encajonante 0.5 m. Este endentado es en piso, hastiales y corona.

**Figura 42**

*Construcción del muro de concreto*



Fuente: Elaboración propia

### ***3.2.2 Lanzado de tubería para drenaje de agua***

- Por la parte superior de tajo (cabeza) se lanzan 3 tuberías hdpe de 4 pulgadas de diámetro, las cuales tendrán 3 diferentes longitudes de acuerdo al banco de explotación.
- Por la parte inferior del tajo (ventana) se recoge las puntas de las tuberías y se empalma a las tuberías dejadas en el muro de contención.
- Las alturas de las tuberías serán distanciadas 3 metros (cotas), esto es para el drenaje de agua que se hará por etapas de acuerdo a como ingrese el relleno hidráulico.

- Las 3 tuberías son sujetadas y amarradas en la parte superior sin exposición hacia el vacío.
- En las puntas inferiores de las tuberías de drenaje se empalma válvulas de control. Esto es detrás del muro de contención.

**Figura 43**

*Tuberías de drenaje por delante del muro*



Fuente: Elaboración propia

### **3.2.3 Transporte del relleno hidráulico**

El relave clasificado para su uso como relleno hidráulico es transportado a la mina para que sean depositados en los vacíos dejados por la explotación a través de un sistema de bombeo que consiste en la puesta en operación de un conjunto de bombas que es el medio que da impulso al relave que mediante tuberías HDPE es transportado a interior mina.

#### **Bombas.**

La bomba es una máquina que toma la energía mecánica, que puede provenir de un motor eléctrico o de otro tipo y la transforma en energía que las transfiere a un fluido para moverlo de un lugar a otro, en un mismo nivel y/o a diferentes niveles.

El transporte del relave en forma de pulpa a menudo requiere de bombas. Los tipos de bombas requeridos dependen de la concentración, peso y propiedades químicas de la pulpa. Los modelos de bombas existentes para este tipo de trabajo son semejantes a las usadas para agua pura, pero con recubrimientos, diseño y aditamentos especiales para

evitar al máximo el desgaste por abrasión debido a los sólidos, llegando en la mayoría de los casos a sacrificar el rendimiento mecánico e hidráulico.

#### **Figura 44**

*Bombas de lodos en el silo nuevo*



Fuente: Elaboración propia.

#### **3.2.4 Relleno del tajo**

- Por la parte superior del tajo se deja la troncal de relleno hidráulico, se inicia el proceso de llenado.
- Primeramente, se lanza agua 15 minutos en comunicación con el operador del silo nuevo mediante una radio y / o teléfono. Luego de esto se lanza el relleno hidráulico.
- Cuando el relleno hidráulico llena la parte horizontal del tajo y comienza a subir el agua por diferencia de densidades se coloca por encima.
- Cuando el agua sube y llega a la altura del primer tubo de drenaje, este ingresa y sale por la tubería hasta detrás del muro de contención.
- Aquí el agua es derivada hacia una poza de decantación, luego con una bomba es llevada hacia el sistema de drenaje mediante cunetas.
- Continuando con el proceso de relleno, este relleno hidráulico sube e ingresa por la primera tubería de drenaje, aquí el relleno debe de cerrar la válvula de 4 pulgadas para evitar la fuga de relleno.

- Este proceso se repite hasta que las tres tuberías de drenaje sean cerradas; y de esta forma completar el relleno del tajeo.
- Finalmente, luego del relleno se pide al operador del silo nuevo enviar agua para lavar la troncal de superficie hasta la labor.

**Figura 45**

*Tajo de taladros largos sin relleno hidráulico*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

**Figura 46**

*Tajo de taladros largos iniciando el proceso de relleno*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

## Figura 47

*Tajo de taladros largos rellenado*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

### 3.3 Demanda y requerimiento de relleno hidráulico mina

Cuando mina requiere relleno hidráulico este es enviado desde el Silo Nuevo. El relleno es utilizado en los diferentes niveles tales como en el nivel 180, nivel 250, nivel 180, 420, y 450.

Para el relleno se usa una bomba svedala de 5"x4" y se bombea hacia el interior mina, llegando el caudal de relleno en el tajo o labores con un caudal de 30 m<sup>3</sup>/hrs, y mediante tubería HDPE de 4 pulgadas en toda su longitud.

## Figura 48

*Bombas svedalas - silo nuevo*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

### 3.3.1 Demanda de relleno hidráulico mina

La demanda de Relleno Hidráulico en un inicio era de 3,000m<sup>3</sup> ya que antiguamente esta unidad (Huaron), era solo convencional y se tenía pocas labores mecanizadas.

En su mecanización los tajos convencionales se redujeron a los que se tenía anteriormente, por ende, el relleno hidráulico se implementó para los tajos de taladros largos mediante la construcción de muros de concreto.

#### Relleno hidráulico 2022.

Para el segundo semestre del año 2022 se llegó a un volumen de 12,000m<sup>3</sup> de Relleno Hidráulico por mes considerando el relleno hidráulico de taladros largos.

**Tabla 14**

*Relleno hidráulico del año 2022 (m<sup>3</sup>)*

MES	RELLENO HIDRAULICO AÑO 2022 (m <sup>3</sup> )
ENERO	3,100.00
FEBRERO	2,800.00
MARZO	3,000.00
ABRIL	3,000.00
MAYO	2,800.00
JUNIO	3,400.00
<b>JULIO</b>	12,000.00
<b>AGOSTO</b>	12,000.00
<b>SETIEMBRE</b>	12,000.00
<b>OCTUBRE</b>	12,000.00
<b>NOVIEMBRE</b>	12,000.00
<b>DICIEMBRE</b>	12,000.00
TOTAL	90,100.00

Fuente: Elaboración propia

### **Demanda de Relleno hidráulico**

A continuación, se presenta un cuadro de la demanda de relleno hidráulico a partir del segundo semestre del 2022 (julio – diciembre) meses la cual se irá incrementando.

#### **3.3.2 Requerimiento de relleno hidráulico en 2022**

La cantidad de relleno que se requerirá para el 2022, es calculada en función al vacío generado por la extracción del mineral de los tajos, de acuerdo al programa de producción anual.

**Tabla 15**

*Producción anual año 2022*

FECHA	TMS	M3
Enero	80,000.00	25,806.45
Febrero	80,000.00	25,806.45
Marzo	80,000.00	25,806.45
Abril	80,000.00	25,806.45
Mayo	80,000.00	25,806.45
Junio	80,000.00	25,806.45
Julio	80,000.00	25,806.45
Agosto	80,000.00	25,806.45
Septiembre	80,000.00	25,806.45
Octubre	80,000.00	25,806.45
Noviembre	80,000.00	25,806.45
Diciembre	80,000.00	25,806.45
Total	960,000.00	309677.41

Fuente: Elaboración propia.

Del total del vacío generado anual, se rellenó el 29.09 % con relleno hidráulico el resto se rellenó con detrítico.

**Tabla 16***Relleno hidráulico por tipo de labores*

Tipo de labores	Relleno hidráulico (m3)
Tajeo Breasting	0
Labores antiguas	0
Tajeo taladros largos	12,000.00
<b>Total (m3)</b>	<b>12,000.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Vacío total generado = 960,000 TMS/año / 3.1 TMS/m<sup>3</sup>

Vacío total generado = 309,677.41 m<sup>3</sup> / año

Total, de relleno hidráulico: **90,100.00 m<sup>3</sup> / año**

**Lo cual representa un 29.09 % de vacío total generado**

**3.3.3 Proyección requerimiento de relleno hidráulico 2023****Tabla 17***Proyección requerimiento de relleno hidráulico 2023*

FECHA	TMS	M <sup>3</sup>
Enero	80,000.00	25,806.45
Febrero	80,000.00	25,806.45
Marzo	80,000.00	25,806.45
Abril	80,000.00	25,806.45
Mayo	80,000.00	25,806.45
Junio	80,000.00	25,806.45
Julio	80,000.00	25,806.45
Agosto	80,000.00	25,806.45
Septiembre	80,000.00	25,806.45
Octubre	80,000.00	25,806.45
Noviembre	80,000.00	25,806.45
Diciembre	80,000.00	25,806.45
<b>Total</b>	<b>960,000.00</b>	<b>309677.41</b>

Del total del vacío generado anual, se rellenará el 46.51% con relleno hidráulico el resto será rellenado con detrítico.

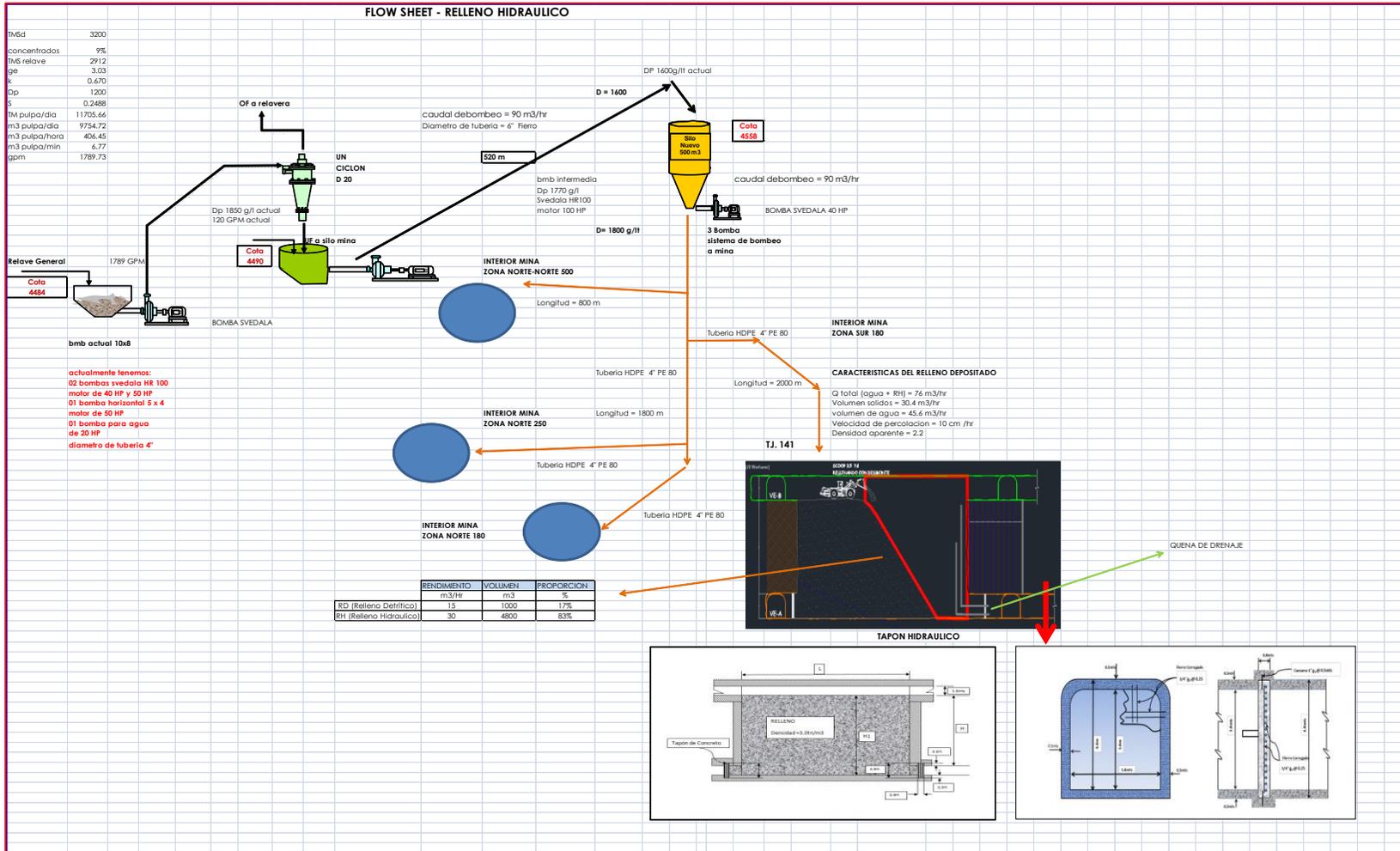
Vacío total generado = 960,000 TMS/año / 3.1 TMS/m<sup>3</sup>

Vacío total generado = 309,677.41 m<sup>3</sup> / año

Total, de relleno hidráulico que se necesitará: **144,030.96 m<sup>3</sup> / año**

Figura 49

Flow Sheet - relleno hidráulico



Fuente: Informe planta concentradora Pan American Silver S.A.

### 3.4 Disponibilidad de relave de planta concentradora

Para determinar la cantidad de relave que Planta Concentradora puede entregar, se debe de determinar el Análisis Granulométrico del relave clasificado y con ello determinar el porcentaje útil del relave.

#### 3.4.1 Porcentaje útil de relave (PUR)

Es la cantidad del relave grueso recuperado después de su clasificación. A partir de un análisis de malla del relave producido se puede determinar esta cantidad.

$$\alpha = \frac{\sum A}{\sum B}$$

$$A = (\%A(-) \text{ Feed} - \%A(-) \text{ Under}) \times (\%A(-) \text{ Over} - \%A(-) \text{ Under})$$

$$B = (\%A(-) \text{ Over} - \%A(-) \text{ Under})^2$$

Donde:

$$\alpha = \text{Porcentaje fino (Over) del total de relave clasificado.}$$

$$\%A(-) \text{ Feed} = \text{Porcentaje acumulativo negativo de la alimentación.}$$

$$\%A(-) \text{ Under} = \text{Porcentaje acumulativo negativo de gruesos.}$$

$$\%A(-) \text{ Over} = \text{Porcentaje acumulativo negativo de finos.}$$

$$\text{PUR} = 1 - \alpha$$

Donde:

$$\text{PUR} = \text{Porcentaje grueso (Under) del total de relave clasificado.}$$

**Tabla 18**

*Análisis granulométrico de muestra de relave*

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MUESTRA DE RELAVE															
D-20															
Malla	um	Feed				Under (para mina)				Over				A	B
		Peso	% w	A(+)	A(-)	Peso	% w	A(+)	A(-)	Peso	% w	A(+)	A(-)		
50	300	70.46	7.6	7.6	92.4	112.57	14.7	14.7	85.3	1.7	0.4	0.38	99.6	100.846	204.5
70	212	75.16	8.1	15.8	84.2	114.81	15.0	29.7	70.3	1.9	0.4	0.79	99.2	400.806	833.2
100	150	87.39	9.5	25.2	74.8	130.37	17.0	46.7	53.3	2.8	0.6	1.42	98.6	969.290	2046.8
140	106	90.38	9.8	35.0	65.0	131.9	17.2	63.9	36.1	5.5	1.2	2.64	97.4	1765.853	3749.0
200	75	106.6	11.5	46.6	53.4	126.18	16.5	80.3	19.7	24.73	5.5	8.14	91.9	2436.268	5210.1
270	53	83.51	9.0	55.6	44.4	71.93	9.4	89.7	10.3	40.28	9.0	17.11	82.9	2474.705	5270.0
325	44	43.9	4.8	60.4	39.6	26.53	3.5	93.2	6.8	29.72	6.6	23.73	76.3	2277.216	4821.6
-325		365.9	39.6	100.0	0.0	52.4	6.8	100.0	0	342.6	76.3	100	0	0.000	0.0
P. Ensayado		923.3	100			766.69	100			449.14	100			10424.983	22135.192

Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

**Tabla 19***Cálculo de los factores A y B*

A	B
100.846	204.5
400.806	833.2
969.290	2046.8
1765.853	3749.0
2436.268	5210.1
2474.705	5270.0
2277.216	4821.6
0.000	0.0
10424.983	22135.192

Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

$$\alpha = 0.4709 \text{ Over}$$

$$1-\alpha = 0.5291 \text{ Under}$$

Del análisis granulométrico se puede establecer que solo el 52.91% del relave total producido en la Planta Concentradora será aprovechado para su utilización como relleno hidráulico. El remanente será depositado en la cancha de relave N° 5.

### **3.4.2 Producción de relave**

La cantidad de relave que producirá Planta concentradora dependerá del tonelaje alimentado por parte de la operación (mineral de cabeza) y de la recuperación al final del tratamiento del mineral ingresado.

Por data histórica se ha establecido que la relación entre Producción de concentrados versus Producción alimentada es de:

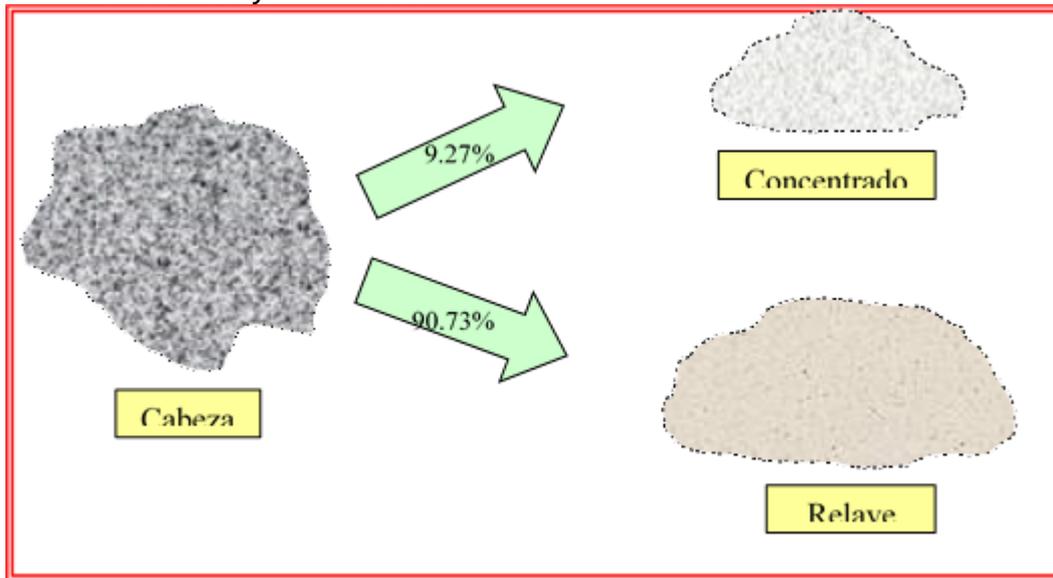
$$\text{Relación Concentrado/Cabeza} = 9.27 \%$$

Por lo tanto, la cantidad de relave producido será:

$$\text{Relación Relave/Cabeza} = 90.73 \%$$

**Figura 50**

*Distribución de Relave y concentrado*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

Con el valor obtenido del cuadro anterior, entonces podemos conocer la cantidad de relave a disponer:

- Cantidad de relave =  $960,000 \times 0.9073 = 871,008$  TMS

Pero, recordemos que este relave debe de pasar de un proceso de clasificación y solo la fracción gruesa es la que se utilizara en el relleno hidráulico.

- Cantidad de relave

$$\text{Disponibles para RH} = 871,008.00 \times 0.5291 = 460,763.232 \text{ TMS}$$

Si bien es cierto que el peso específico del relave es de 2.85 TMS / m<sup>3</sup>, para materia de análisis de disponibilidad se debe tener en cuenta el concepto de “**Densidad Aparente del relleno in-situ**”.

### ***3.4.3 Densidad aparente***

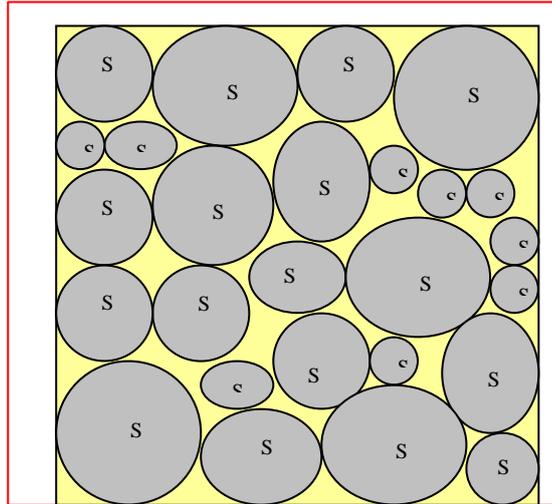
Se denomina densidad aparente, a la densidad in situ del relave puesto en el tajo. Tal como se aprecia en la figura, la masa de sólidos del relave final ocupará un volumen mayor, debido a los espacios vacíos dejados por las partículas sólidas cuando estos entran en contacto entre sí. Estos espacios vacíos son ocupados por partículas de agua y aire.

Es lógico decir que mientras más gruesa sea la granulométrica del relave mayor será el volumen a ocupar (esponjamiento) y menor será su densidad aparente.

Lo contrario sucederá cuando menos gruesa sea la granulometría del relave, esta será más cohesiva (menos esponjada) y mayor densidad aparente.

### Figura 51

*Disposición de partículas de relave in-situ*



Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

Para determinar la densidad aparente del relave in-situ, se procede a tomar muestras de relave recién depositadas en la labor, antes de que sea expuesta al contacto con el personal, equipos o que sea compactada por efecto de voladuras.

Se toma muestras de relave de 1 pie<sup>2</sup> de área y 1 pie de profundidad; esta muestra es sacada cuidadosamente y se lleva para su pesado

La densidad aparente calculada es de 2.2TMS / m<sup>3</sup>

- Volumen de relave

Disponible para RH = 209,437.833 m<sup>3</sup>

A este volumen aún hay que quitarle la cantidad de relave que debido a su granulometría fina y muy lenta velocidad de percolación son arrastradas durante el drenaje de las aguas del relleno.

Para determinar este valor, debemos de hacer el análisis de malla del relave enviado (underflow) y del relave depositado (in-situ). Con ello determinaremos que porcentaje del relave por debajo de la malla 200 se perderá.

**Tabla 20**

*Análisis granulométrico del relave enviado*

malla	um	UNDER (para mina)				LLEGADA INSITU				
		Peso	% w	A(+)	A(-)	Peso	% w	A(+)	A(-)	
50	300	112.57	14.7	14.7	85.3	56.8	11.36	11.36	88.64	
70	212	114.81	15.0	29.7	70.3	85.6	17.12	28.48	71.52	
100	150	130.37	17.0	46.7	53.3	124.4	24.88	53.36	46.64	
140	106	131.9	17.2	63.9	36.1	101.2	20.24	73.60	26.40	
200	75	126.18	16.5	80.3	19.7	73.6	14.72	88.32	11.68	
270	53	71.93	9.4	89.7	10.3	36.2	7.24	95.56	4.44	
325	44	26.53	3.5	93.2	6.8	9.6	1.92	97.48	2.52	
-325	0	52.4	6.8	100.0	0	12.6	2.52	100.00	0.00	
		766.69								

Fuente: Informe de servicios mina. Pan American Silver S.A.

Del cuadro anterior se observa que:

Porcentaje de relave perdido es:  $19.7.0 \% - 11.68 \% = 8.02 \%$

- **Volumen final de relave**

Suministrado por Planta =  $209,437.833x (100\% - 8.02\% = 192,640.91m^3$ .

Disponibile para RH

Oferta de relave por parte de Planta Concentradora.

**Relave Anual = 192,640.91 m<sup>3</sup>**

**Relave Mensual = 16,053.41 m<sup>3</sup>**

### 3.5 Obtención de resultados

#### 3.5.1 Relleno hidráulico acumulado mensual (años 2020, 2021, 2022)

**Tabla 21**

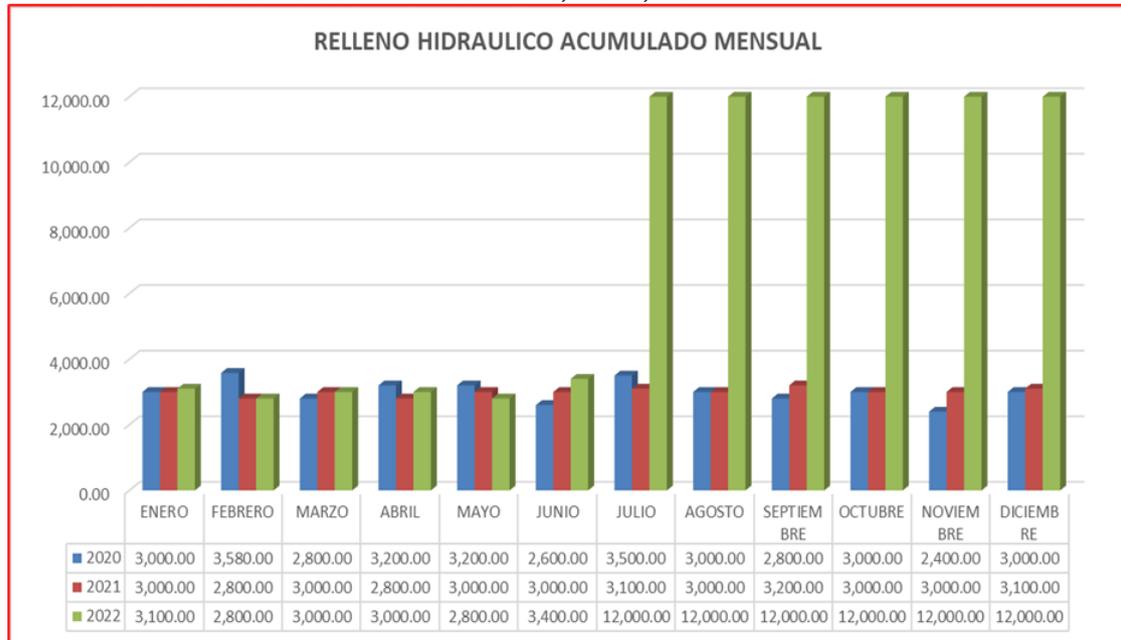
*Ciclo histórico de relleno hidráulico mensual*

MESES	AÑO		
	2020	2021	2022
ENERO	3,000.00	3,000.00	3,100.00
FEBRERO	3,580.00	2,800.00	2,800.00
MARZO	2,800.00	3,000.00	3,000.00
ABRIL	3,200.00	2,800.00	3,000.00
MAYO	3,200.00	3,000.00	2,800.00
JUNIO	2,600.00	3,000.00	3,400.00
JULIO	3,500.00	3,100.00	12,000.00
AGOSTO	3,000.00	3,000.00	12,000.00
SETIEMBRE	2,800.00	3,200.00	12,000.00
OCTUBRE	3,000.00	3,000.00	12,000.00
NOVIEMBRE	2,400.00	3,000.00	12,000.00
DICIEMBRE	3,000.00	3,100.00	12,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>36,080.00</b>	<b>36,000.00</b>	<b>90,100.00</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 52**

*Relleno hidráulico acumulado mensual 2020, 2021, 2022*



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2 Histórico relleno hidráulico anual y promedio

Tabla 22

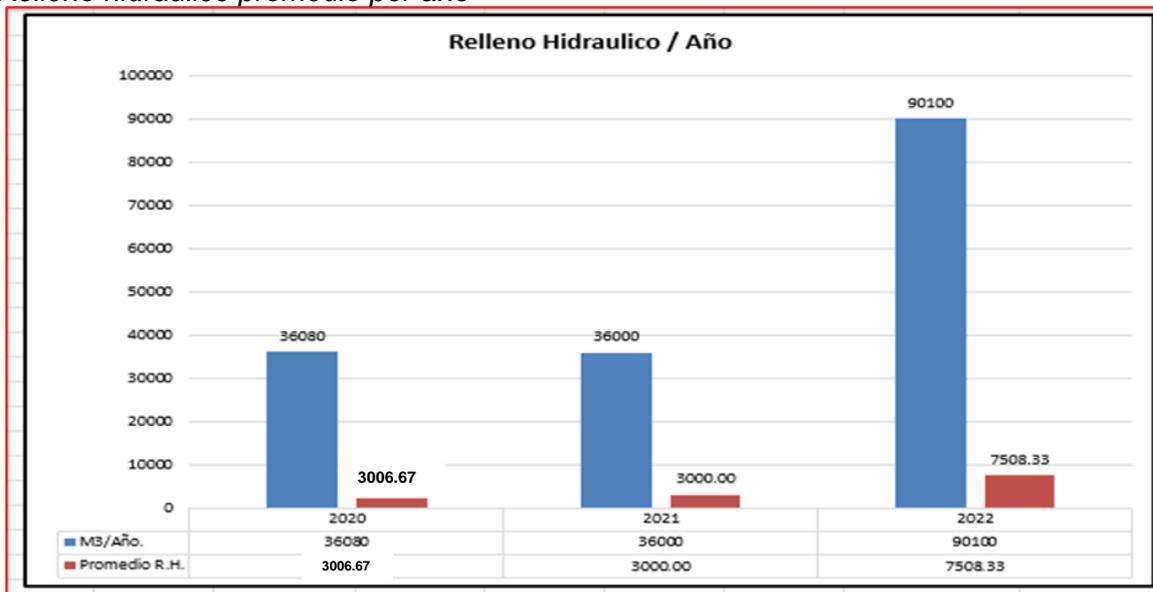
Historico relleno hidráulico anual y promedio

AÑO	M3/AÑO	PROMEDIO
2020	36,080.00	3,006.67
2021	36,000.00	3,000.00
2022	90,100.00	7,508.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 53

Relleno hidráulico promedio por año



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3 Comparación costo relleno hidráulico vs relleno detritico

- RH = 2.77 \$/m3.
- RD = 5.5 \$/m3.
- Ahorro = 2.73 \$/m3
- Ahorro 2022 = 196,560.00 \$/año

**Tabla 23**

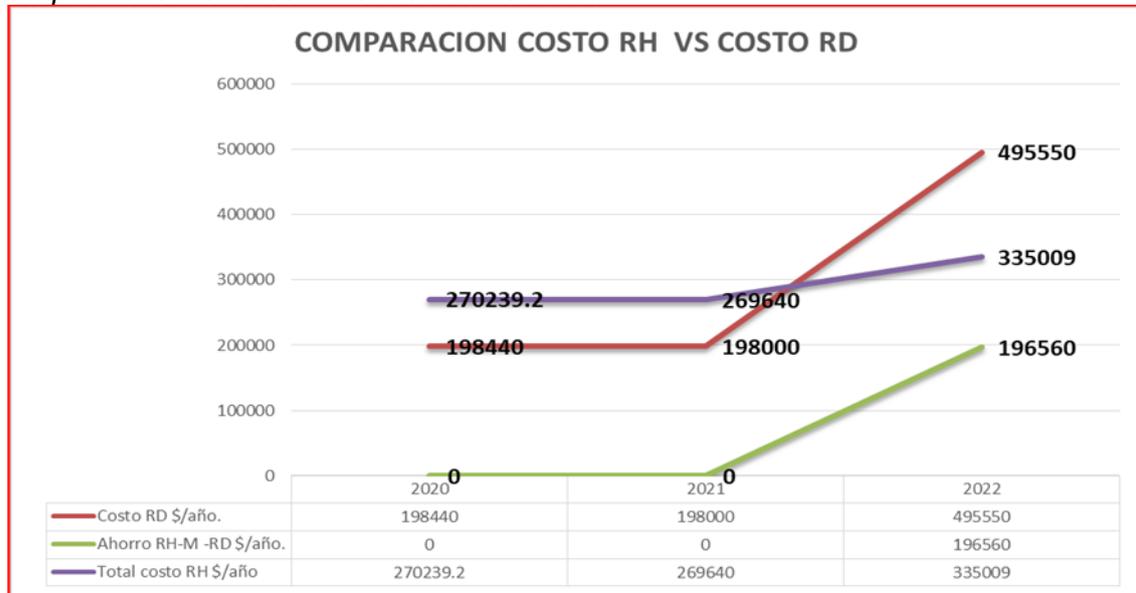
*Comparación costo relleno hidráulico vs relleno detrítico*

CONCEPTO	AÑO		
	2020	2021	2022
M3/AÑO	36,080.00	36,000.00	90,100.00
PROMEDIO	3,006.67	3,000.00	7,508.33
COSTO RH/AÑO	270,239.20	269,640.00	335,009.00
COSTO RD MEC. \$/AÑO	198,440.00	198,000.00	495,550.00
AHORRO \$/AÑO	0.00	0.00	196,560.00

Fuente: Elaboración propia

**Figura 54**

*Comparación relleno hidráulico vs relleno detrítico*



Fuente: Elaboración propia

**3.5.4 Comparación costo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional**

- RH - convencional = 7.49 \$/m3.
- RD - mecanizado = 2.77 \$/m3.
- Ahorro = 4.72 \$/m3
- Ahorro 2022 = 339,840.00 \$/año.

**Tabla 24**

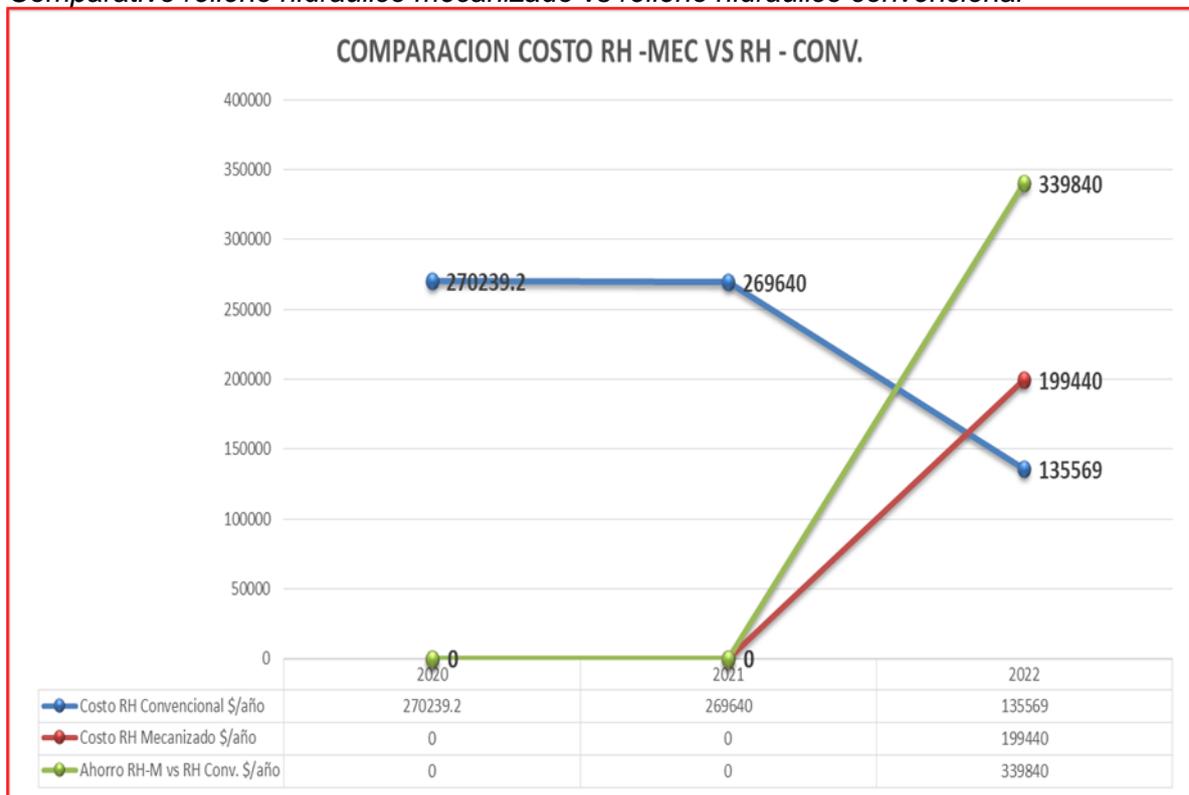
*Comparación costo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional*

CONCEPTO	AÑO		
	2020	2021	2022
M3/año	36,080.00	36,000.00	90,100.00
Promedio	3,006.67	3,000.00	7,508.33
Costo RH/año	270239.20	269640.00	335009.00
Costo RH Convencional. \$/año	270239.20	269640.00	135569.00
Costo RH Mecanizado. \$/año	0.00	0.00	199440.00
Total costo \$/año	270239.20	269640.00	335009.00
Ahorro \$/año	0.00	0.00	339840.00

Fuente: Elaboración propia

**Figura 55**

*Comparativo relleno hidráulico mecanizado vs relleno hidráulico convencional*



Fuente: Elaboración propia

### **3.5.5 Relleno hidráulico 2022 vs relleno hidráulico proyectado 2023**

#### **Relleno hidráulico Acumulado 2022.**

Del total del vacío generado anual, se relleno el 29.09 % con relleno hidráulico el resto se relleno con detrítico lo cual representa el 70.91%.

Vacío total generado = 960,000 TMS/año / 3.1 TMS/m3

Vacío total generado = 309,677.41 m3 / año

Total, de relleno hidráulico: 90,100.00 m3 / año

**Lo cual representa un 29.09 % de vacío total generado**

**Tabla 25**

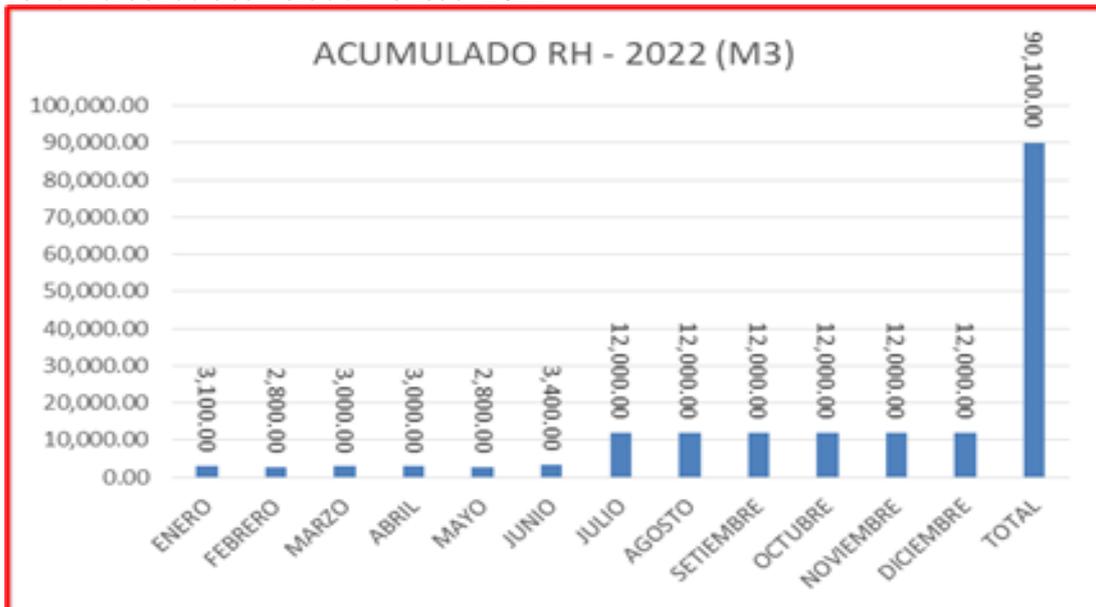
*Relleno hidráulico acumulado 2022*

MESES	2022 (M3)
ENERO	3,100.00
FEBRERO	2,800.00
MARZO	3,000.00
ABRIL	3,000.00
MAYO	2,800.00
JUNIO	3,400.00
JULIO	12,000.00
AGOSTO	12,000.00
SETIEMBRE	12,000.00
OCTUBRE	12,000.00
NOVIEMBRE	12,000.00
DICIEMBRE	12,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>90,100.00</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 56**

*Relleno hidráulico acumulado mensual 2022*



Fuente: Elaboración propia

### Relleno hidráulico proyectado 2023

Del total del vacío generado anual, se rellenará el 46.51% con relleno hidráulico el resto será rellenado con detrítico lo cual representará 53.49%.

Vacío total generado = 960,000 TMS/año / 3.1 TMS/m<sup>3</sup>

Vacío total generado = 309,677.41 m<sup>3</sup> / año

Total, de relleno hidráulico que se necesitará: **144,030.96 m<sup>3</sup> / año**

**Tabla 26**

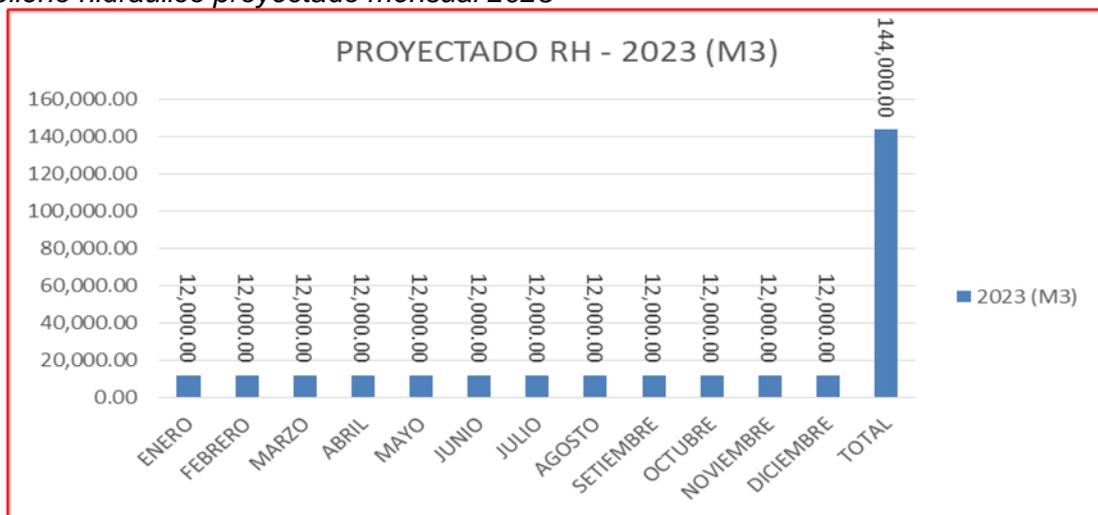
*Relleno hidráulico proyectado 2023*

MESES	2023 (M3)
ENERO	12,000.00
FEBRERO	12,000.00
MARZO	12,000.00
ABRIL	12,000.00
MAYO	12,000.00
JUNIO	12,000.00
JULIO	12,000.00
AGOSTO	12,000.00
SETIEMBRE	12,000.00
OCTUBRE	12,000.00
NOVIEMBRE	12,000.00
DICIEMBRE	12,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>144,000.00</b>

Fuente: Elaboración propia

**Figura 57**

*Relleno hidráulico proyectado mensual 2023*



Fuente: Elaboración propia

### Comparación costos relleno hidráulico.

Relleno hidráulico acumulado 2021

Porcentaje Relleno Hidráulico 2021 = 11.62 %

Porcentaje de Relleno Detrítico 2021 = 88.38%

Relleno hidráulico acumulado 2022

Porcentaje Relleno Hidráulico 2022 = 29.09 %

Porcentaje de Relleno Detrítico 2022 = 70.91%

Relleno hidráulico Proyectado 2023

Porcentaje Relleno hidráulico Proyectado 2023= 46.51%

Porcentaje de Relleno Detrítico Proyectado 2023 = 53.49%

**Tabla 27**

*Comparación de costos en años 2021, 2022 y 2023*

MESES	AÑO		
	2021	2022	2023
ENERO		3,100.00	12,000.00
FEBRERO	2,800.00	2,800.00	12,000.00
MARZO	3,000.00	3,000.00	12,000.00
ABRIL	2,800.00	3,000.00	12,000.00
MAYO	3,000.00	2,800.00	12,000.00
JUNIO	3,000.00	3,400.00	12,000.00
JULIO	3,100.00	12,000.00	12,000.00
AGOSTO	3,000.00	12,000.00	12,000.00
SETIEMBRE	3,200.00	12,000.00	12,000.00
OCTUBRE	3,000.00	12,000.00	12,000.00
NOVIEMBRE	3,000.00	12,000.00	12,000.00
DICIEMBRE	3,100.00	12,000.00	12,000.00
TOTAL (M3)	36,000.00	90,100.00	144,000.00
PROMEDIO RH (M3)	3,000.00	7,508.33	12,000.00
Total relleno detrítico (m3)	273,677.41	219,577.41	165,677.41
Costo RH \$/año	269,640.00	335,009.00	398,880.00
Costo RD \$/año	1,505,225.76	1,207,675.76	911,225.76

Fuente: Elaboración propia

## Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

### 4.1 Análisis de resultados

#### 4.1.1 Ahorro en costo de relleno detrítico.

Con respecto al ahorro de Relleno detrítico se presenta el cuadro comparativo donde se muestra que se evidencia ahorro por la disminución de relleno detrítico en tajos a consecuencia del incremento del rendimiento del relleno hidráulico:

Ahorro en Relleno detrítico en 2022 con respecto al 2021 fue de: 297,550.00\$/año.

Ahorro en Relleno detrítico proyectado en 2023 con respecto al 2021 será de: 594,000.00 \$/año.

**Tabla 28**

#### *Ahorro en costo de relleno detrítico*

	2021	2022	2023
Total Relleno Detrítico (M3)	273,677.41	219,577.41	165,677.41
Línea base costo relleno Detrítico \$/año	1,505,225.76	1,505,225.76	1,505,225.76
Total costo relleno Detrítico \$/año	1,505,225.76	1,207,675.76	911,225.76
Ahorro relleno Detrítico \$/año	0.00	297,550.00	594,000.00

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Ahorro en costo de relleno hidráulico

Con respecto al ahorro de Relleno Hidráulico se presenta el cuadro comparativo donde se muestra el ahorro total neto debido al incremento del rendimiento de hidráulico por la disminución de relleno detrítico en tajos de taladros largos:

- Ahorro en Relleno hidráulico en 2022 con respecto al 2021 fue de: **232,181.00 \$/año.**
- Ahorro en Relleno hidráulico proyectado en 2023 con respecto al 2021 será de: **464,7600.00 \$/año.**

**Tabla 29***Ahorro en costo de relleno hidráulico*

	2021	2022	2023
Total Relleno Hidráulico (M3)	36,000.00	90,100.00	144,000.00
Línea base costo relleno Hidráulico \$/año	269,640.00	269,640.00	269,640.00
Total costo relleno Hidráulico \$/año	269,640.00	335,009.00	398,880.00
Ahorro relleno Hidráulico \$/año	0.00	-65,369.00	-129,240.00
Ahorro relleno detrítico \$/año	0.00	297,550.00	594,000.00
Ahorro Total relleno Hidráulico \$/año	0.00	232,181.00	464,760.00

Fuente: Elaboración propia

**4.2 Contrastación de hipótesis****4.2.1 Para la hipótesis general**

Se obtuvo los siguientes resultados:

- Se comprueba que mediante la construcción de muro de concreto en las bases de los tajos de taladros largos se incrementó el rendimiento de 36,000 m<sup>3</sup>/año a 90,100 m<sup>3</sup>/año en el 2021 y con proyección de 144,000 m<sup>3</sup>/año en el 2023.
- Se reduce los costos de 7.49 \$/m<sup>3</sup> de relleno hidráulico a 2.77 \$/m<sup>3</sup> en el segundo semestre del 2022.
- Se comprueba que mediante la construcción de muros de concreto se elimina las fugas de relleno hidráulico por las bases de los tajos de taladros largos.

**4.2.2 Para las hipótesis específicas**

- Se comprueba que mediante la construcción de muro de concreto en las bases de los tajos de taladros largos se incrementó el rendimiento de 36,000 m<sup>3</sup>/año a 90,100 m<sup>3</sup>/año en el 2021 y con proyección de 144,000 m<sup>3</sup>/año en el 2023.  
Se reduce los costos de 7.49 \$/m<sup>3</sup> de relleno hidráulico a 2.77 \$/m<sup>3</sup> en el segundo semestre del 2022.
- Se comprueba que Mediante la construcción de muros de concreto se elimina las fugas de relleno hidráulico por las bases de los tajos de taladros largos.

## Conclusiones

Con la construcción del muro de concreto en los tajos de taladros largos se logra incrementar el rendimiento promedio de 3,000 m<sup>3</sup>/mensual en el primer semestre del año 2022 a 12,000 m<sup>3</sup>/mes desde el segundo semestre del año 2022.

La construcción del muro de concreto en los tajos de taladros largos permite la reducción de costos de relleno hidráulico pasando de relleno convencional (7.49 \$/m<sup>3</sup>) a relleno mecanizado (2.77 \$/m<sup>3</sup>).

El muro de concreto está diseñado con un factor de seguridad de 30% de su resistencia inicial.

El relleno hidráulico de tajos de taladros largos incrementa la seguridad del tajeo al estabilizar y encajonar los espacios vacíos ingresando a las sinuosidades evitando descajes y reacomodos del macizo rocoso (pisos inferiores y superiores).

Debido a la mecanización de procesos en Pan American Silver Huarón la aplicación de relleno hidráulico en tajos de taladros largos ayuda a dinamizar y mejorar el ciclo de minado por su mayor rendimiento (30m<sup>3</sup>/hr) en comparación al relleno detrítico (15m<sup>3</sup>/hr). Al rellenar el espacio vacío dejado por el tajeo en menor tiempo, la exposición a derrumbes se disminuye y el tiempo para el inicio del nuevo corte del tajeo también se reduce.

Se está dando más años de vida útil a la presa de relaves en superficie, ya que se incrementará el volumen de envío del relave hacia el interior mina para que sirva de relleno hidráulico en los tajos de taladros largos.

## Recomendaciones

Para la construcción del muro de concreto armado, se debe de seguir las mismas características técnicas del diseño presentado.

El control de drenaje y evacuación del agua producida en el proceso de relleno hidráulico en el tajo deberá ser controlado estrictamente, ya que si no fuera así se incrementaría la presión sobre el muro de concreto armado.

Se deben de tener bombas de agua y de lodo en stand by, ya que si sufrieran averías las bombas que trabajan al pie del muro no se podría bombear el agua originando inundaciones de las labores aledañas al pie del tajo.

Se debe de contar con un buen sistema de cunetas y drenaje en las vías principales para poder evacuar el agua bombeada del tajo hacia el sistema de drenaje principal de la mina.

Para la construcción del muro de concreto se deberá tener en cuenta la ubicación idónea en el pie del tajo, este deberá ser ubicado en el tramo de la roca más competente y no muy cerca a la cara libre del tajo de taladros largos.

Debido al incremento del rendimiento de relleno hidráulico las tuberías tendrán mayor desgaste por la naturaleza abrasiva de la pulpa por lo que se deberá identificar y realizar programas de reemplazo de troncales de tubería de relleno hidráulico.

Se deberá contar con equipos de limpieza tipo minicargador frontal (Bodca) para la evacuación de lodo y material fino que se genera en las cunetas de la mina al paso del agua bombeada. Si no fuese así el agua con el material en mención saldría hacia las vías principales originando el deterioro prematuro de los equipos que transitan como también posibles accidentes al personal que transita a pie.

## Referencias bibliográficas

- Beltran C. Wilfredo. *Estudio experimental de relleno hidráulico en la Mina Atacocha.*
- Beltran, Walter. *Estudio experimental de relleno hidráulico en la mina Atacocha.*
- Bouso, Juan Luis. (1993), *Manual de bombeo de pulpas.*
- Caceres,J. (1973) *Relleno hidráulico en Quiruvilca.*
- Caceres Neyra, Alejandro. *Problemas de hidráulica.*
- Dave Ladriault. (1998), *Tecnología de pasta para aplicaciones de relleno subterráneo.*
- Doe Run. (2018), *Estudio Técnico para envío de 100% de relave a interior mina Cobriza – Perú.*
- Felipe, De Lucio. (1972) *Especificaciones para el relleno hidráulico.*
- Felipe De Lucio. (1972). *Teoría de relleno hidráulico.* XII Convención de ingenieros de minas.
- Gómez Jiménez, A (2016), *Proyecto de ejecución de un relleno hidráulico y su tratamiento para cimentación.* UPM. Madrid, pág. 16, Trabajo fin de Master.
- Huancaya Delgado, G. (1998), *Análisis de los Sistemas de Relleno Hidráulico en la Mina Carahuacra - Volcan Compañía Minera S.A.A.”.*
- Meza Pavis, E. (1978), *Proyecto de Optimización y Ampliación del Sistema de Relleno Hidráulico en la Compañía Minera Huampar S.A.” .*
- Rodríguez, N. (2016), *Optimización del sistema de relleno hidráulico mediante la implementación de una tercera línea en la red de tubería de relleno hidráulico en la empresa Consorcio Minero Horizonte S.A. – Título de ingeniero de minas – Universidad nacional de Trujillo.*
- Solano, J. (1973) *Relleno hidráulico en Quiruvilca.*
- Tumialán, Jaime. (1972) *Uso del relleno hidráulico en la mina Morococha.*

## Anexos

	Pág.
Anexo 1: Perforación de Taladros Largos en TJ. 871D-W .....	2
Anexo 2: Tajo de Taladros Largos en TJ. 871D-W – Termino de minado .....	2
Anexo 3: Proceso de armado de muro de concreto en pie de tajo de Taladros Largos en TJ. 871D-W .....	3
Anexo 4: Muro de concreto Tj. 871D-W culminado y relleno.....	3
Anexo 5: Quenas de drenaje en muro de concreto .....	4
Anexo 6: Tajo de taladros largos relleno hasta piso superior Tj. 871D-W .....	4
Anexo 7: Silo de relleno Hidráulico con capacidad de 500 m3 .....	5
Anexo 8: Bomba Svedala RH-100 de 4"x3" .....	5
Anexo 9: Toma de muestras de densidades del relleno Hidráulico en silo .....	6
Anexo 10: Vista perfil del Diseño de muro de concreto y tajo de taladros largos.....	6
Anexo 11: Vista perfil de sección de tajo 871D-W, nivel superior e inferior .....	7
Anexo 12: Dimensiones de equipo de taladros largos RAPTOR 44 .....	7
Anexo 13: Muro hidráulico de tajo 249.....	8
Anexo 14: Muro hidráulico de tajo 790.....	8
Anexo 15: Muro hidráulico de tajo 869.....	9
Anexo 16: Construcción de muro hidráulico de tajo 384 .....	9
Anexo 17: Construcción de muro hidráulico de tajo 384 .....	10
Anexo 18: Construcción de muro hidráulico de tajo 384 .....	10
Anexo 19: Muro hidráulico de tajo 868.....	11
Anexo 20: Vista de tajo de taladros largos a relleno .....	11
Anexo 21: Uso de bomba para evacuación de agua.....	12
Anexo 22: Limpieza de finos en cuneta con minicargador .....	12
Anexo 23: Matriz de Consistencia.....	13
Anexo 24: Norma adecuada para el diseño del mortero diferente a lo indicado en el R.N.E. ..	14

**Anexo 1: Perforación de Taladros Largos en TJ. 871D-W**



**Anexo 2: Tajo de Taladros Largos en TJ. 871D-W – Termino de minado**



**Anexo 3: Proceso de armado de muro de concreto en pie de tajo de Taladros Largos en T.J. 871D-W**



**Anexo 4: Muro de concreto Tj. 871D-W culminado y relleno**



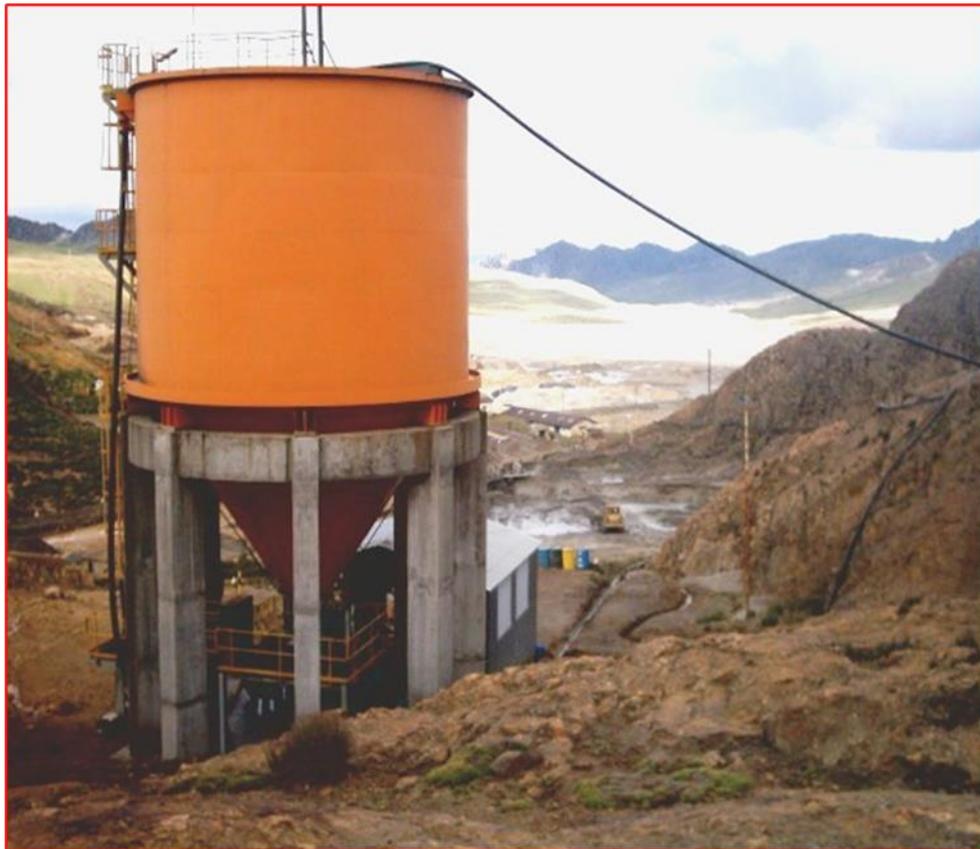
**Anexo 5: Quenas de drenaje en muro de concreto**



**Anexo 6: Tajo de taladros largos rellenado hasta piso superior Tj. 871D-W**



**Anexo 7: Silo de relleno Hidráulico con capacidad de 500 m3**



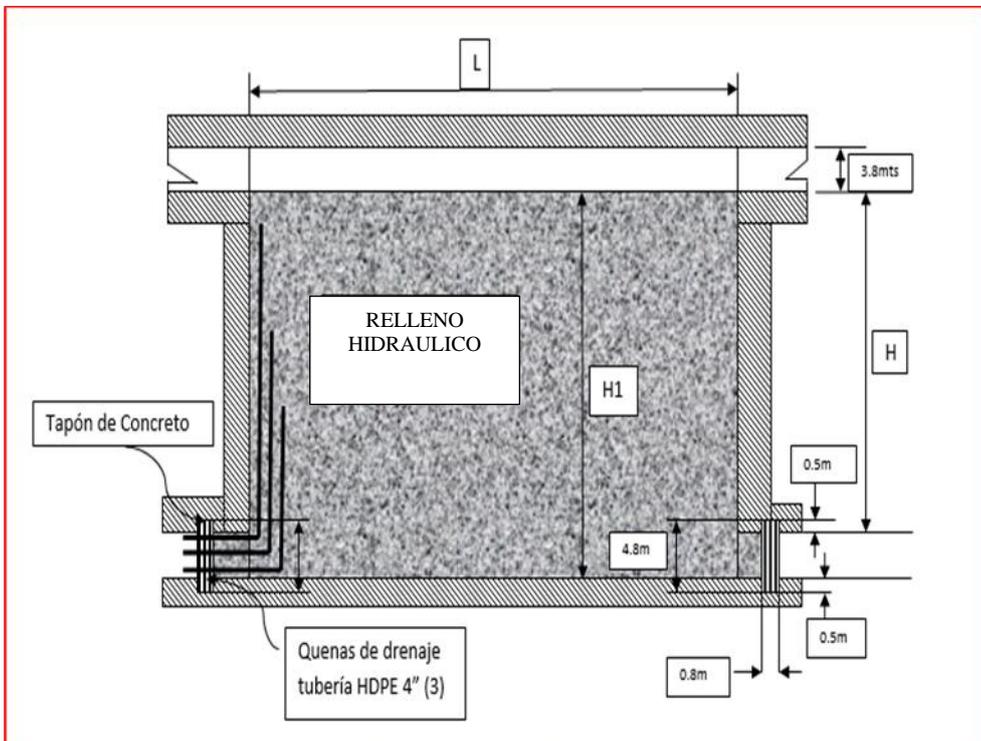
**Anexo 8: Bomba Svedala RH-100 de 4"x3"**



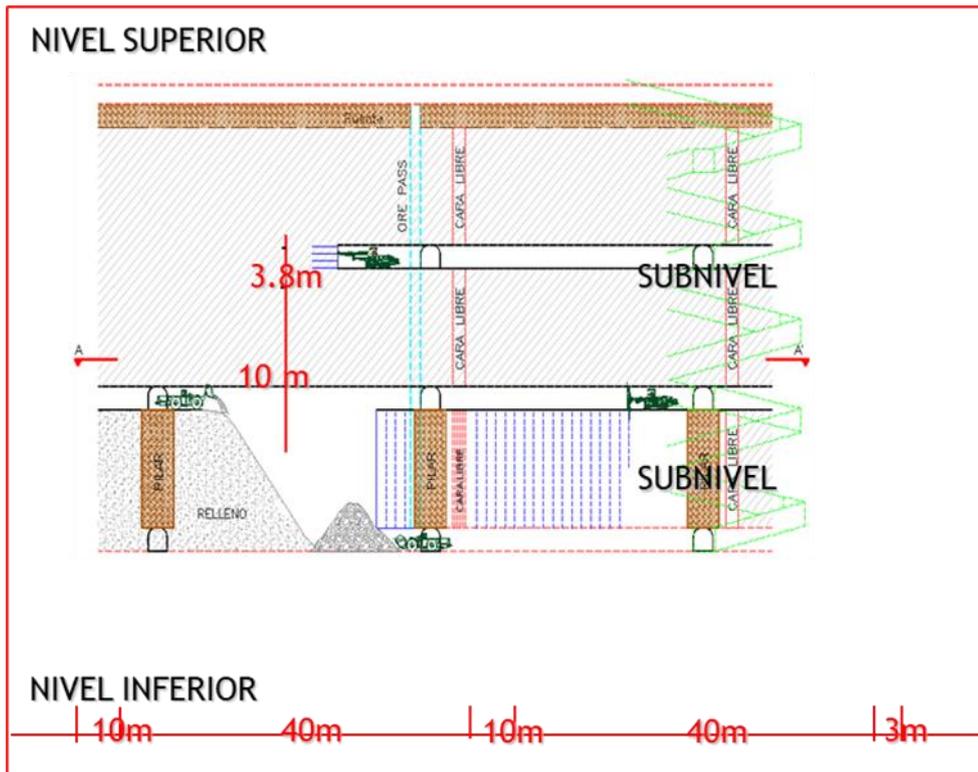
**Anexo 9: Toma de muestras de densidades del relleno Hidráulico en silo**



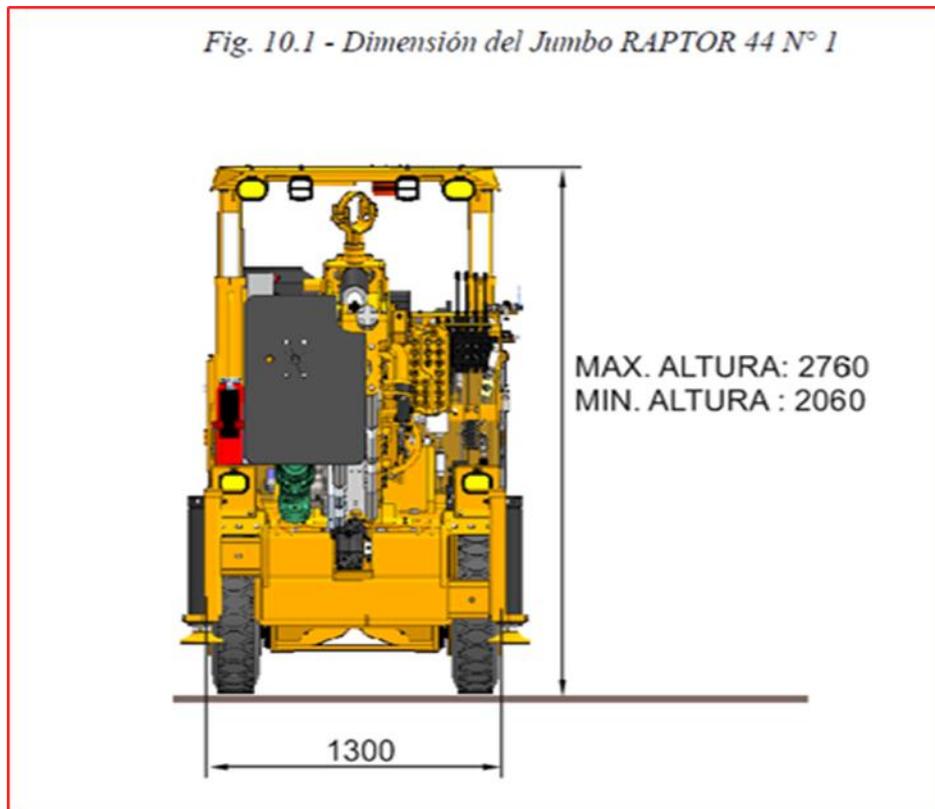
**Anexo 10: Vista perfil del Diseño de muro de concreto y tajo de taladros largos.**



**Anexo 11: Vista perfil de sección de tajo 871D-W, nivel superior e inferior**



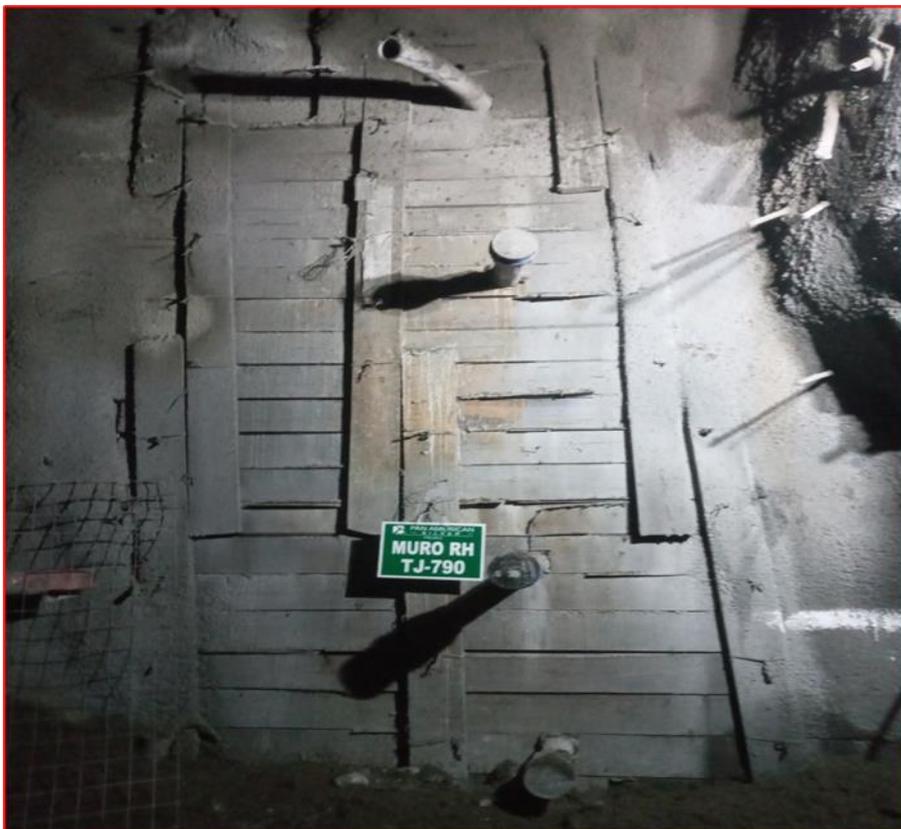
**Anexo 12: Dimensiones de equipo de taladros largos RAPTOR 44**



**Anexo 13: Muro hidráulico de tajo 249**



**Anexo 14: Muro hidráulico de tajo 790**



Anexo 15: Muro hidráulico de tajo 869



Anexo 16: Construcción de muro hidráulico de tajo 384



**Anexo 17: Construcción de muro hidráulico de tajo 384**



**Anexo 18: Construcción de muro hidráulico de tajo 384**



**Anexo 19: Muro hidráulico de tajo 868**



**Anexo 20: Vista de tajo de taladros largos a rellenar**



**Anexo 21: Uso de bomba para evacuación de agua**



**Anexo 22: Limpieza de finos en cuneta con minicargador**



## Anexo 23: Matriz de Consistencia

“Aplicación de relleno hidráulico en tajos de taladros largos, mediante el armado de muro de concreto”

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
<p><b><u>Problema general</u></b></p> <p>¿Cómo influye la construcción del muro de concreto en tajos de taladros largos para incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos en el proceso de relleno, eliminando el riesgo de fuga y/o soplo de relave?</p> <p><b><u>Problemas específicos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>¿En qué medida influye la construcción del muro de concreto en tajos de taladros largos para incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos en el proceso de relleno?</li> <li>¿En qué medida influye la construcción del muro de concreto en tajos de taladros largos para eliminar fugas y riesgos de soplo en el proceso de relleno hidráulico?</li> </ol>	<p><b><u>Objetivo general</u></b></p> <p>Determinar cómo influye la construcción del muro de concreto en tajos de taladros largos para incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos en el proceso de relleno, eliminando el riesgo de fuga y /o soplo de relave.</p> <p><b><u>Objetivos específicos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Determinar en qué medida influye la construcción del muro de concreto en tajos de taladros largos para incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos en el proceso de relleno hidráulico.</li> <li>Determinar en qué medida influye la construcción del muro de concreto en tajos de taladros largos para eliminar fugas y riesgos de soplo en el proceso de relleno hidráulico.</li> </ol>	<p><b><u>Hipótesis general</u></b></p> <p>La construcción del muro de concreto en tajos de taladros largos permite incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos al aplicar relleno hidráulico en tajos de taladros largos, los cuales generan más espacios vacíos y eliminará el riesgo de soplo de relave.</p> <p><b><u>Hipótesis específicas</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>La construcción del muro de concreto en tajos de taladro largos permite incrementar el rendimiento de relleno hidráulico y reducir los costos del proceso de relleno en minas subterráneas.</li> <li>La construcción del muro de concreto en tajos de taladros largos permite eliminar el riesgo de soplo de relave por la base de los tajos en minas subterráneas.</li> </ol>	<p><b><u>Variable independiente: X</u></b></p> <p>X1= Construcción del muro de concreto, eliminando riesgo de fuga y/o soplo de relave por pie del tajo.</p> <p><b><u>Variable dependiente: Y</u></b></p> <p>Y1= Obtener incremento del rendimiento del relleno hidráulico y reducción de costos.</p>	<p><b><u>Indicadores de X:</u></b></p> <p>X1: Diseño de muro de concreto para tajos.</p> <p>X2: Número de muros a realizar para poder rellenar tajos de taladros largos</p> <p><b><u>Indicadores de Y:</u></b></p> <p>Y1: Incremento del volumen de relleno hidráulico acumulado por mes (m3/mes).</p> <p>Y2: Reducción de costos por m3 de relleno hidráulico mensual (\$/m3).</p>	<p><b><u>Tipo de Investigación</u></b></p> <p>Aplicada.</p> <p><b><u>Nivel de Investigación</u></b></p> <p>Descriptivo y explicativo.</p> <p><b><u>Método de la Investigación</u></b></p> <p>Deductivo, inductivo.</p> <p><b><u>Diseño de la Investigación</u></b></p> <p>Experimental, cuantitativa.</p> <p><b><u>Población</u></b></p> <p>Todas las minas subterráneas que piensen en mejorar sus índices de relleno, costos y seguridad mediante el uso de muro de concreto.</p> <p><b><u>Muestra</u></b></p> <p>Como muestra se tienen los tajos de taladros largos en la unidad Huaron.</p> <p><b><u>Instrumento</u></b></p> <p>Densímetro, pruebas de esfuerzo a la comprensión y de corte del concreto, caudalímetro, potencia de bombas.</p>

## **Anexo 24: Norma adecuada para el diseño del mortero diferente a lo indicado en el R.N.E.**

El Reglamento Nacional de Edificaciones se aplica a toda construcción y se evalúa con el software SAP 2000, aplica para todo tipo de edificaciones, el hecho que diga edificaciones no significa que sea exclusivo para un edificio o una casa.

El diseño es para todo tipo de edificaciones tales como pared, muro, cochera, zapata, etc., en exterior como en interior mina, para todo se aplica el reglamento.

Por tanto, la norma E.020 Cargas y Norma E.060 Concreto armado del RNE (reglamento Nacional de Edificaciones) es válida para el diseño de construcción del muro de concreto para taladros largos en interior mina. Además, se usó el ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete (American Concrete Institute).

Como insumo para el concreto del muro se usa cemento tipo V, el cual sirve para obtener concretos con alta resistencia a los sulfatos, agentes químicos, suelos ácidos y/o aguas subterráneas como se tiene en el relleno hidráulico